

DAS ABKLINGEN DER FARBEN: VERSUCHE, GESCHICHTE UND THEORIE

**INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
DER KÖNIGL. CHRISTIAN ALBRECHTS-
UNIVERSITÄT ZU KIEL**

VORGELEGT

VON

PAUL HOMUTH
AUS OSSIG (KREIS ZETZ)

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1912

Referent: Prof. Dr. MARTIUS.

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juli 1911.

KIEL, den 13. Mai 1912.

Zum Druck genehmigt
gez. Dr. F. JACOBY
z. Zt. Dekan.

(Sonderdruck aus dem »Archiv für die ges. Psychologie«, Bd. XXVI, Heft 1/2.)

MEINEN ELTERN

I. Abschnitt: Die Versuche.

1) Versuchsanordnung.

Für die im Folgenden beschriebenen Versuche wurde als Reiz ein Ringsektor von 15,4 cm mittlerem Radius, 5 cm radialer Ausdehnung und 10° Winkelgröße benutzt. Dieser aus schwarzem Kartonpapier ausgeschnittene Reizspalt war in die Vorderwand eines geschwärzten Holzkastens eingefügt. In dem Kasten war die Lichtquelle, eine etwa 380 Kerzen starke Nernstlampe, und zwar meist 20 cm von der Reizöffnung entfernt, aufgestellt. Das Licht mußte, bevor es zum Auge gelangte, eine in die Vorderwand eingelassene Milchglasplatte, dann eine (beim Gelb 3) Lage Schreibpapier, die sich von innen gegen das schwarze Kartonpapier legte, bei den farbigen Reizen außerdem die absorbierende Schicht passieren. Diese Schicht bestand meist aus einer oder seltener zwei farbigen Gelatineplatten (bezogen von der Firma Steeg & Reuter in Homburg v. d. H.); bei den grünen Reizen hingegen wurden photographische Films, die nach Entfernung der lichtempfindlichen Schicht mit Filtergrün gefärbt waren, verwendet. Die durch spektrale Zerlegung gefundene Zusammensetzung der Reizfarben stelle ich in der unten folgenden Tabelle zusammen. Dabei will ich 4 Grade des Durchlassens unterscheiden, nämlich: gut, mittel, schwach und sehr schwach. Die Lichtquelle des Spektralapparates ist eine Nernstlampe von ungefähr 50 Kerzen Stärke. In den Apparat wurden nur die Farbplatten (ohne das Papier und die Milchglasplatte) eingestellt.

Versuchs- farbe	Es wurden durchgelassen						
	Rot	Orange	Gelb	langwell. Grün	kurzwell. Grün	Blau	Violett
Rot I	gut	Rot- orange: schwach	—	—	—	—	—
Orange	gut	gut	gut	schwach	—	—	—
Gelb	gut	gut	gut	mittel	schwach	—	sehr schwach
Grün I (dunkel)	—	—	—	mittel	gut	Grünblau sehr schwach	—
Grün II (heller)	äußerstes Rot: sehr schwach	—	sehr schwach	gut	gut	schwach	—
Blau	äußerstes Rot: schwach	—	—	—	mittel	gut	mittel
Purpur- violett	langwell. Rot: gut	—	—	—	sehr schwach	gut	gut
Rosa- purpurn	gut	mittel	—	—	—	gut	gut

Direkt nach dem Übergang von dem Hell- in das Dunkelmzimmer zeigten die Reizfarben folgende Qualitäten:

- 1) Rot I: ein reines, dunkles, etwas nach Karmin verschobenes Rot
- 2) Orange: schwach rötliches, helles Orange
- 3) Gelb (mit 3 Lagen Schreibpapier): etwas nach einem bräunlichen Orange verschobenes Gelb
- 4) Grün I: sehr dunkles Grün
- 5) Grün II: helleres Grün
- 6) Blau: helleres Blau von nur mittlerer Sättigung
- 7) Purpurviolett: ein reines Purpurviolett, das dem Purpur sehr nahe steht
- 8) »Rosapurpurn«: Die Qualität dieser Reizfarbe war öfters schwer festzustellen, bald erschien sie deutlich rosapurpurn, bald hingegen mehr orangerot.

Nach ihrem Helligkeitswert geordnet stehen die Reizfarben ungefähr in folgender Reihe: die hellsten Farben sind Rosapurpurn, Blau, Purpurviolett und Orange, etwas dunkler erscheinen Grün II und Gelb, noch dunkler Rot I, bei weitem am dunkelsten Grün I.

Zu Beginn einer jeden Versuchsreihe wurden zunächst durch einen

10 bis 20 Minuten dauernden Aufenthalt im Dunkelraum die störenden Einflüsse vorangegangener Lichterregungen möglichst beseitigt. Dann wurde das Auge in einer Entfernung von 30 bis 60 cm vom Lichtspalt ein bis vier Minuten lang dem Lichtreize ausgesetzt und dabei eine in der Mitte des Reizes befindliche möglichst kleine (ungefähr 1 qmm große) Marke aus geschwärztem Leukoplast scharf fixiert. Während dieser Exposition achtete ich genau auf die sich zeigenden »Umstimmungen« und Umgebungswirkungen. Nach dem Ausschalten der elektrischen Stromes folgte dann im Dunkelraum das »farbige Abklingen der Reize«. War dieses beendet, so schloß sich dann in einigen Versuchen eine »Wiederbelebung« der Nachbilder durch farbloses, von einer größeren weißen Papierfläche diffus reflektiertes Licht einer Kohlenfadenlampe an. Diese Wiederbelebung zeigte sich in meinem Auge stets erst im aufs Neue verdunkelten Gesichtsfelde, am besten nach mehreren kurz auf einander folgenden Reizstößen durch das genannte farblose Licht.

Die Resultate einer solchen Beobachtung notierte ich sofort nach ihrer Beendigung aus dem Gedächtnisse; die Bilder selbst wurden dabei möglichst genau mit Buntstiften aufgezeichnet.

Oft folgten noch an demselben Tage mehrere Kontrollbeobachtungen, denen stets eine erneute Dunkeladaptation vorausging. Mit jeder Reizfarbe wurden mehrere Versuche bzw. Versuchsreihen an verschiedenen Tagen angestellt.

Abweichungen von der eben angegebenen Norm, wie Helladaptation, kürzere Expositionsdauer (kürzer als eine Minute), andere Reizart usw. sind im Folgenden besonders erwähnt.

Der Ertrag der Beobachtungen hing von verschiedenen Nebenumständen ab. Vor allem ist unbedingte Voraussetzung des Gelingens eine über mehrere Monate sich erstreckende Übung in der Beobachtung von Nachbildern. Ferner wirkte dunkles Wetter und körperliches Wohlbefinden begünstigend ein.

2) Allgemeines über die Versuchsergebnisse.

Der Schilderung der Einzelheiten schicke ich einige allgemeine Feststellungen über die Gestalt und Farbe der Bilder voraus. Ich nenne im Folgenden die objektive zirkumskripte Lichtquelle (den beleuchteten Spalt) »Reiz«, die während der Dauer der Reizung auftretenden Bilder »Primärbilder« und die im Dunkelraum sich zeigenden subjektiven Erscheinungen »Sekundärbilder« oder »Nachbilder«. »Bildphasen« oder kurz »Phasen« sind die in der Zeit sich entwickelnden einzelnen Stadien der Primär- und Sekundärbilder.

Alle diese Bilder zeigen mehr oder minder deutlich eine von innen nach außen sich erstreckende vierfache Gliederung. Figur 1, Tafel I, gibt ein Schema dieser Differenzierung. Für die einzelnen Bezirke will ich folgende Bezeichnungen einführen:

- 1) »Bildkern« (oder einfach »Kern«)
- 2) »Bildrand« (»Rand«)
- 3) »Kontrastrahmen« (»Rahmen«)
- 4) »Hof«

Dabei »erscheinen« im Primärbilde 1 und 2 als unmittelbare Folgen der Reizung, 3 und 4 als Umgebungswirkungen.

Die Teile der Bilder zeigen — mit Ausnahme des Hofes — im Nachbilde eine zum Primärbilde gegensätzliche Helligkeitsverteilung. In der folgenden Tabelle sind diese Helligkeitsverhältnisse zusammengestellt.

	Primärbild	Nachbild
1) Kern	verdunkelt	hell
2) Rand	hell	dunkler
3) Rahmen	dunkel	verhältnismäßig sehr hell
4) Hof	schwach aufgehell	schwach aufgehell

Selbstverständlich ist hier mit den Worten »hell« und »dunkel« immer nur auf die Helligkeits-Verhältnisse innerhalb des Primär- oder des Nachbildes hingedeutet.

Die einzelnen Bildbezirke weisen folgende charakteristische Merkmale auf:

Im Primärbilde erscheint der Kern fast sofort nach dem Beginn der Exposition gegenüber dem Rande meist ziemlich gleichmäßig verdunkelt; die Verdunkelung steigert sich aber beträchtlich im Verlaufe der Beobachtung, kann jedoch, wie später noch genauer beschrieben wird, von oscillatorisch verlaufenden Wiederaufhellungen unterbrochen werden.

Der oft sehr schmale Bildrand des Primärbildes ist von einer helleren Farbe, die sich bis zu Weiß mit nur schwacher Andeutung der Reizqualität steigern kann. Im allgemeinen erscheint dieser Bezirk um so breiter, je weiter das Auge von dem Reize entfernt ist. Ferner nimmt er sofort beträchtlich an Ausdehnung zu, wenn man durch plötzliches Nähern des Auges die »scheinbare Größe« des Bildes steigert. Auf diese letztere Tatsache gestützt, könnte man ver-

muten, daß dieser Randbezirk lediglich durch geringe Schwankungen des Augenabstandes oder der Akkomodation hervorgerufen wird. Nach meinen Beobachtungen an kurzdauernden Reizen ist das jedoch nicht anzunehmen.

Im Sekundärstadium zeigt der Bildrand eine dunklere Farbe als der Kern, die in ihrer Qualität der sie begleitenden Kernfarbe fast immer um eine Phase vorausseilt. Diese Randverdunkelung ist hier meist auch dann deutlich festzustellen, wenn im Primärbilde der entsprechende Rand kaum zu sehen ist.

Die Differenzierung in Kern und Rand schwindet jedoch im Nachbildstadium oft schon in der zweiten, immer aber in einer der späteren Phasen. Den dadurch einheitlich gewordenen Kern-Randbezirk werde ich im Folgenden öfters ebenfalls kurz als »Kern« bezeichnen.

Der Kontrastrahmen des Primärbildes hebt sich als eine gegenüber dem Hofe deutlich verdunkelte, aber nicht immer scharf abgegrenzte Zone erst im Laufe der Beobachtung heraus. Dabei treten zuweilen in diesem Bezirke mehr und mehr an Helligkeit abnehmende, in einer zu ihrer eignen senkrechten Richtung hin- und herzitternde, an den verschiedensten Stellen bald auftauchende, bald wieder verschwindende farbige Streifen hervor. Diese Streifen, die im Farbenton sich der Gegenfarbe annähern, verbreitern sich einseitig durch Augenbewegungen, scheinen jedoch nicht lediglich in diesen Bewegungen ihren Grund findende Nachbildphänomene zu sein, da sie öfters auf zwei gegenüberliegenden Seiten zugleich auftreten.

In Nachbildstadium erscheint der Kontrastrahmen sofort nach Verdunkelung des Gesichtsfeldes als ein gegen den dunkeln Bildrand sehr deutlich, gegen den Hof mehr oder minder scharf, auf jeden Fall aber schärfer als im Primärbilde abgegrenzter Rahmen von relativ blendender Helligkeit, und zwar in einem weißlichen Farbentone, der fast stets ins Gelbliche, seltener schwach ins Rötliche spielt. Der verhältnismäßig hohe Erregungswert dieser Zone dokumentiert sich ferner in einer eigentümlichen, schwer zu beschreibenden Erscheinung, die bei Weiß, Gelb und Orange am deutlichsten, bei den reinen kurzwelligen Reizfarben hingegen gar nicht auftritt. In dem Rahmen zeigen sich — am schönsten sofort nach dem Einsetzen des Sekundärstadiums — lebhaft flimmernde Wellenzüge; oder noch besser: in dem hellen Grunde scheinen kleine fadenförmige, gegenüber diesem Grunde als schwache Verdunkelungen sich abhebende »Würmer« hin und her zu »wimmeln«; ich wurde wenigstens durch diese Erscheinung sofort an die Bewegungen der Essigälchen in ihrem Ernährungssubstrat erinnert. Dieser sonderbare Befund

ist jedoch durchaus nicht mit jenem mehr oder minder pathologischen Flimmern zu verwechseln, das man wohl als »weiße Mäuse« zu bezeichnen pflegt; im Gegenteil: nur dann, wenn von einer krankhaften Beeinflussung des Auges gar nicht die Rede sein konnte, war dieses ganz anders geartete Phänomen zu sehen.

Im Primärbilde geht der Kontraststrahlen ohne scharfe Grenze in den Hof über. Die Hoffarbe ist meist eine ungesättigte, bald im Farbentöne der Reizfarbe entsprechend, bald sofort oder in einem späteren Stadium an allen Stellen oder in der weiteren Umgebung der Gegenfarbe sich annähernd. Neben diesen Farben oder auch allein waren fast immer — im Primär- und Nachbilde — im Hofe purpurviolette Töne vertreten.

Im Nachbilde bleiben die Farben des Hofes entweder dieselben oder schlagen seltener in mehr gegenfarbige Nuancen um. Stets aber machen sowohl im Primär- wie im Sekundärstadium diese Farbentöne einen eigentümlich »dunklen« Eindruck. Mir schien die Farbfläche des Hofes immer unendlich fein schwarz punktiert zu sein.

Von den einzelnen Reizfarben zeigt das Gelb deutlich die eben geschilderten Merkmale der Empfindung, besonders klar und scharf von einander getrennt aber treten bei ihm die einzelnen Phasen des Abklingens hervor. Ich werde deswegen im Folgenden diese Farbe als erste aufführen, trotzdem sie sich bei der spektralen Zerlegung als relativ gemischt erwiesen hat.

3) Versuche mit Gelb.

Die Hauptphasen des Empfindungsverlaufs sind in den Figuren I₁, I₂; II₁, II₂, II₃—II₇ auf Tafel I dargestellt. I bedeutet dort Primär-, II Sekundärbild, die Indices geben die verschiedenen zeitlich aufeinanderfolgenden Phasen innerhalb des Primär- bzw. Sekundärstadiums an. [Ein Teil des Hofes ist in den Figuren I₁, I₂, II₁, II₂ und II₇ mitgezeichnet, bei den übrigen Figuren fehlt der Hof. Die »Wimmelnden Würmer« des Kontraststrahmens sind in II₁ angedeutet.]

I₁: Bald nach Beginn der Beobachtung überzieht sich der Kern mit einem rötlichgelbgrauen Schleier, der jetzt noch ohne scharfe Grenze in den mehr weißlich-gelben Rand übergeht. Gegen den dunkeln Kontraststrahlen hingegen ist der helle Rand scharf abgegrenzt. Die in dem Rahmen in der oben angegebenen Weise auftretenden gegenfarbigen Streifen erscheinen indigoblau gefärbt. Der Rahmen geht allmählich in den ungesättigt rötlich-bräunlichen Hof über.

I₂: Der dunkle Kern hebt sich von dem jetzt schmal gewordenen hellerem Rand scharf ab. Seine ungesättigte ins Graue spielende

Farbe differenziert sich in durcheinandergeworfene rötlich-gelbliche und grünlich-gelbliche, oft labyrinthisch in einander verworrene Fleckenstreifen oder Faserzüge. Bald tritt mehr die eine, bald die andere der beiden differenten Farben hervor. Diese Verschiedenheit des Erregungszustandes neben einander befindlicher Netzhautstellen ist vielleicht auf geringfügige Differenzen der Reizwirkung, die in Ungleichmäßigkeiten der absorbierenden Papierschichten ihren Grund finden, zurückzuführen. Neben der eben gekennzeichneten Farbdifferenzierung geht ein abwechselndes Absinken und Ansteigen der Helligkeit des ganzen Kerns einher. Manchmal geschieht dieser Wechsel schnell, zuckend, in kurzen, nur sekundenlangen Perioden. Die dunklere Periode ist dann mehr gleichmäßig graugelb gefärbt.

In diesem Stadium des Primärbildes verdunkelt sich der Kontrastrahmen mehr und mehr bis zum tiefsten Schwarz hin; zugleich wird die Abgrenzung gegen den Hof eine schärfere. Die Farbe des Hofes schlägt vom Bräunlichen langsam ins Grünlich-Bläuliche um, doch so, daß an manchen Stellen die erste, an anderen die zweite Farbe überwiegt; daneben können undefinierbare Mischfarben auftreten; zuletzt überwiegt das Grünlich-Bläuliche.

Nach Verdunkelung des Gesichtsfeldes entwickeln sich folgende Bilder.

II₁: Ein tief indigoblauer Kern von einer fast »glühenden« Sättigung ist umgeben von einem dunkleren Rand. Dieser Rand zeigt sich in einem weniger gesättigten purpurvioletten Farbenton. Mit dem Worte »Purpurviolet« will ich andeuten, daß diese Farbennuance an der Grenze zwischen Purpur und Violett steht. Jedoch ist diese Qualität, der wir im weiteren Verfolge dieser Arbeit noch häufiger begegnen werden, dem Purpur meist verwandter als dem Violett.

Der Kontrastrahmen ist blendend weiß mit schwach gelblichem Ton. In ihm sind die in Paragraph 2 beschriebenen »wimmelnden Würmer« zu sehen. Der verhältnismäßig scharf dagegen abgegrenzte Hof erscheint in dieser wie in allen folgenden Phasen in einem dunklen rötlich-violetten Ton.

II₂: Nach einer momentanen Unbestimmtheit in der Erscheinung breitet sich die dunkle rötlich-violette Farbe des Hofes¹⁾ gleichsam wie ein Schleier über das ganze Bild. Doch scheint dabei die Zone des Kontrastrahmens in ihrer alten gelblichweißen Farbe deutlich begrenzt durch diesen Schleier hindurch.

1) In der Figur II₂ ist diese Farbe nicht genau getroffen; sie ist dort zu stark mit Blau gemischt.

Im Folgenden will ich solche und ähnliche, meist weniger gesättigte und dunklere Zwischenbilder, die den Ablauf der helleren und deutlicher gefärbten Phasen des »Abklingens« unterbrechen, stets »Pausen« nennen und mit dem Index p bezeichnen.

Solche Pausen, die Sekunden oder auch nur Augenblicke ausfüllen, schieben sich im Nachbildstadium bei allen Reizfarben zwischen die lebhafter tingierten und schärfer begrenzten Bilder ein. Bald sind sie deutlich entwickelt, bald nur durch undeutliche, oft eine Unsicherheit im Urteil zurücklassende Verdunkelungen angedeutet.

II_2 : Die Phase 1 wiederholt sich öfters, von einem zum andern Male unterbrochen durch die oben erwähnten Pausen.

II_{3a} und II_{3b} : Das Purpurviolett des Randes rückt in den Kern hinein vor, läßt aber in der Mitte noch einen blauen Fleck frei. Zuerst gelingt es dieser Farbe, das Blau in der Mitte (also an der Stelle des deutlichsten Sehens) gleichsam zu überbrücken, wie 3b angibt. Das Purpurviolett zieht sich in weiteren, ähnlichen Bildern allmählich vollständig wie ein Vorhang über das Blau hinweg. Unter diesem Vorhang schimmert jedoch in den mittleren Partien des Kerns das Blau noch andauernd hindurch. Eine deutliche Mischung der beiden Farben Blau und Purpurviolett kommt jedoch nicht zustande.

II_4 : In dem Wettstreit zwischen Purpurviolett und Blau hat endlich das erstere die Oberhand gewonnen. Das Blau kann sich jedoch in der Mitte als deutlich abgegrenzter Fleck wieder durchkämpfen.

Die einzelnen Bilder von II_3 und II_4 gehen entweder direkt ineinander über oder sind durch die oben gekennzeichneten Pausen mehr oder minder deutlich von einander getrennt.

Mit der Phase II_4 ist die Unterscheidung von Rand und Kern illusorisch geworden. Rahmen und Hof scheinen weiter denselben Netzhautstellen, wie vorher, zu korrespondieren. Die Farbe des Rahmens hat sich inzwischen etwas weiter nach Gelb hin verschoben.

II_5 : Nach einer deutlichen Pause geht ziemlich unvermittelt und sprunghaft die Kernfarbe in ein helleres Rosaviolett über. Das Blau kann auch hier aus der Mitte sich wieder schwach vordrängen. Der Kontrastrahmen hat unterdessen eine deutlich gelbe, schwach nach dem Braun-Orange umgestimmte Farbe angenommen.

II_6 : Das Gelb des Rahmens dringt nach der Mitte vor, hat aber in dem neuerrungenen Gebiete eine stärker ungesättigt-bräunliche Tönung, als an der Peripherie. Dieses »Braun« ist wahrscheinlich auf eine »Mischung« des neuen Gelb mit dem noch nicht vollständig

abgeklungenen Purpurviolett zurückzuführen. Auch hier zeigen sich in dem übrig gebliebenen, jetzt schon weniger deutlichen Rosa noch Spuren von blauen streifigen Flecken.

II_{6a}: Analog 3b erscheint die Phase 6 wohl auch in der Gestalt 6a.

Die Konturen sind unterdessen verwaschener, die Farben ungesättigter und lichtschwächer geworden. Die Pausen, sofern sie überhaupt zu sehen sind, erscheinen einheitlich ungesättigt-dunkel-violett getönt.

II₇: Ein ungesättigtes graues Braungelb, in dem der Unterschied zwischen Kern und Rahmen schwindet, schließt den Kampf zwischen Gelb und Rosa. In der Mitte verschwinden jedoch die rosavioletten Flecken erst zu allerletzt.

II₈: Während die ganze Erscheinung zu verschwinden beginnt, kommen in der Mitte des von der Farbe des Hofes nach kaum grau-violett getönten Sehfeldes Andeutungen von grünlich bläulichen Farbennuancen schwach zur Geltung.

II₉: Bei Wiederbelebung durch Weiß [in der oben in § 2 angegebenen Weise] ist im aufs Neue verdunkelten Gesichtsfelde ein deutlich abgegrenztes gelbliches Bild zu sehen, in dem zu Zeiten aus der Mitte grünlich-bläuliche Flecken hervortreten können. —

Der eben gekennzeichnete Verlauf des Abklingens zeigt drei relativ scharf von einander getrennte Farben, das sind Blau, Purpurviolett (Rosa) und Gelb. Diese Farben sind dabei nie durch stetige Übergänge miteinander verbunden, sondern stets geht die eine unstetig, fast sprungweise, in die andere über. Beinahe in der ganzen Periode des Abklingens streiten sich diese drei gleichsam um die Vorherrschaft in der Empfindung. Besondere Stadien in diesem Wettstreite sind jene »Schleierbilder«, in denen an derselben Stelle des Gesichtsfeldes zwei von den drei Farben zugleich in die Erscheinung treten.

Die gleichen drei Farben habe ich außerdem in einigen anderen, ohne besondere Kautelen [wie Dunkeladaptation und vollständiger Lichtabschluß] angestellten Versuchen gesehen:

Sieht man das rötliche Gelb der untergehenden Sonne einige Zeit an, so tanzen dann, wenn man den Blick gegen den blauen Abendhimmel wendet, tief purpurne, schön gelb gesäumte Sonnenbilder vor den Augen. Das Gelb der Peripherie sucht wieder das mittlere Purpurn zu verdrängen. Ehe ihm das vollständig gelingt, tritt in dem Kern bereits eine grünlich-bläuliche Färbung auf, die allerdings unter den angegebenen Bedingungen selten zu einem reinen Blau gelangt.

Die Flamme einer Stearinkerze, im Nachtdunkel eines Zimmers mit möglichst konstanter Blickrichtung einige Zeit angesehen, gibt nach dem Auslöschen folgende Nachbilder:

1) Tiefschwefelgelb mit gesättigt-purpurnen Rand, öfters verschwindend und wieder auftauchend.

2) Das Purpurn geht nach der Mitte, das jetzt reinere Gelb drängt sich daraus öfters wieder hervor.

3) Unterdessen hat sich an der Peripherie ein grünlich-bläulicher Saum entwickelt, der von dem übrigen Bilde durch eine Dunkelzone getrennt ist.

4) Das Grünlichblau geht ins Zentrum und wird dort zu einem reineren dunkleren Blau. Daraus drängt sich fast bis an den Schluß des Abklingens in der Mitte öfter das Purpurn und aus dessen Mitte zu Zeiten wieder das Gelb hervor. Zugleich erscheint an der Peripherie des Blau wieder das vorher aus dem Zentrum verdrängte Gelb, aber jetzt lichtschwächer und weißlicher geworden.

5) Am Schluß des Abklingens kann dieses Gelb eventuell wieder zentralwärts vordringen und das Blau teilweise oder vollständig verdrängen. Manchmal legt sich das Gelb auch wie ein Schleier über das Blau, wobei wohl auch grünliche Mischöne zustande kommen. —

Nach Fixation einer durch hineingespritzte Kochsalzlösung gelb gefärbten Bunsenbrennerflamme erscheinen die drei Farben Purpurn, Gelb und Blau in scharfer Trennung und großer Reinheit.

4) Versuche mit Orange.

Der Ablauf der Erregung ist bei dieser Reizfarbe in mehreren Stadien fast genau derselbe wie beim Gelb. Ich gebe deswegen hier nur die Abweichungen an.

I_1 : Im Primärstadium hebt sich der Kern zuerst nur durch Verdunkelung ohne deutliche Verfärbung heraus. Der Rand weist eine hellere gelbe Farbe auf. In ihm zeigen sich an der Grenze gegen den Kontrastrahmen zu Zeiten sehr schmale purpurne Streifen. Der Kontrastrahmen ist und bleibt im Primärbilde undeutlich. Der Hof ist sofort schwach violett gefärbt.

I_2 : Auch jetzt nach längerer Reizung wurde im Kern keine deutliche Verfärbung beobachtet; nur zuletzt überzieht sich dieser Bezirk zu Zeiten mit einem graubläulichen Schein. Der Hof ist jetzt an seiner Grenze gegen den undeutlich von ihm abgehobenen Rahmen schmutzig grünlich-gelb gefärbt. Bei Augenbewegungen können die im Kontrastrahmen auftretenden gegenfarbigen Streifen durch Deckung mit diesem Gelb eine mehr grünliche Färbung annehmen.

II: Das Sekundärstadium zeigt genau wie beim Gelb die Farbenfolge: Blau [jedoch hier mehr nach Cyanblau verschoben], Dunkelpurpurviolett, Hellrosa, Gelb. Die geringen Abweichungen sind die folgenden:

Der Kontrastrahmen ist zu Beginn des Abklingens fast rein weiß und zeigt wieder die »wimmelnden Würmer«. Ohne deutliche Grenze geht er in den an dieser Stelle hellgelblich gefärbten Hof über. Weiter außen weist dieser Hof eine purpurviolette bis bläulichviolette Färbung auf. In einer anderen Versuchsreihe war die innere Farbe grünlichgelb, die äußere bläulich. Im Verlaufe des Abklingens dringt das periphere Purpur- oder Blau-Violett des Hofes zentral weiter vor, so daß endlich das Gelb im Hof nicht mehr zu sehen ist, sondern nur noch den Bezirk des Kontrastrahmens einnimmt.

II_p: Die Pausen sind einförmig dunkelpurpur- bis bläulichviolett gefärbt; wieder schiebt sich dabei gleichsam der Hof über das mittlere Bild hinweg. Bald werden diese Zwischenstadien, wie immer, undeutlich.

II_a: Das Purpurviolett des Randes dringt im allgemeinen nicht ganz soweit wie beim Gelb nach der Mitte zu vor. Das Vorhandensein der Purpurvioletterregung in dem mittleren Teile des Kerns macht sich aber durch überall in das Blau eingestreute purpurviolette Tupfen bemerkbar.

II₄ tritt infolgedessen nur sehr kurz, in einigen Versuchen gar nicht auf.

II₅: Das Rosa ist hier noch heller und ungesättigter als beim Gelb. Das Blau wurde in diesem und den folgenden Bildern nicht mehr beobachtet.

II₆ wurde nicht gesehen.

II₇ ist zwar lichtschwach, aber deutlich rein hellorange gelb gefärbt. Bei schwächerer Reizung können II₆ und II₇ zurücktreten. Das Gelb zeigt sich dann nur in schwach gelblichen Flecken, die in das Rosa eingestreut sind.

II₈ und II₉ sind nicht gesehen worden.

5) Versuche mit Weiß.

Diese Reizfarbe macht beim Übergang von dem Hell- in das Dunkelmur den Eindruck eines schwach gelblich getönten Weiß.

Der Empfindungsverlauf ist ein ganz ähnlicher wie der in § 3 und 4 beschriebene. Mit dem durch die Gelberregung hervorgerufenen psychischen Erfolge ist er in einigen Fällen vollständig identisch. Die Unterschiede sind folgende:

I₁: Der verdunkelte Kern hat einen schwach violetten Ton, der Bildrand ist rein weiß und außen manchmal mit schwach grünlichen Streifen versehen. Der Hof hat eine dem Purpur sich annähernde bräunliche Färbung.

I₂: Der Kern zeigt in einander verschlungene gelbliche [bis grünlichgelbliche] und rötliche Faserzüge, die den Eindruck einer Aderung oder Maserung machen. Die Farbe des Hofes ist vom Purpur-Bräunlichen ins Ungesättigt-Grünliche umgeschlagen. In einem anderen Versuche kämpften in diesem Bezirke bräunlichgelbe, grünliche und bläulichviolette Töne räumlich und zeitlich um die Vorherrschaft.

II: Im Nachbildstadium ist die Farbe des Kontrastrahmens rein weiß. Die »wimmelnden Würmer« sind auch hier zu sehen. Der Hof zeigt weiter eine grünliche Farbe. Erst weiter außen, sowie zeitlich später geht dieses Grün des Hofes in ein undeutliches Violett über. In dem oben unter I₂ genannten anderen Versuche war die Farbe des ganzen Hofes sofort violett.

II_p: In den Pausen scheint die Farbe des äußeren schmutzig rötlich-violetten Hofes über Kern, Rand und Rahmen überzugreifen, ohne den inneren grünlichen Hof dabei zu verdrängen, so daß dann ein von dem grünen Hof gleichsam eingerahmtes dunkelrötlich-violettes Bild zu sehen ist. Der weiße Kontrastrahmen wird also hier im Gegensatz zu dem Befunde beim Gelb von dem Violett vollständig verdeckt.

II₂: In der Reihe der durch die Pausen unterbrochenen Bilder mit blauem Kerne treten zuletzt solche auf, in denen eine am Bildrand bereits vorhandene Gelberregung sich durch orange-bräunliche, in das Purpurviolett dieses Randes eingestreute Flecken bemerkbar macht.

II₅—II₇: Man sieht in einigen Bildern deutlich, wie sich das an der Stelle des alten Kontrastrahmens jetzt vorhandene Gelb von der Peripherie aus über das Rosa des Inneren gleich einem Schleier hinweglegt, doch so, daß eventuell das Rosa in seiner ganzen Ausdehnung [im Kern und im früheren Rand] sichtbar bleibt. Bald scheint dabei eine der beiden Farben durch die andere hindurch zu schimmern, bald hingegen ergeben sich bräunliche Mischöne. Zum Schluß treten dann mehrere bräunlich-orangelbe Bilder hintereinander auf.

II₉: Bei »Wiederbelebung« zeigt sich Gelborange, manchmal mit Blau in der Mitte. —

In den bisher beschriebenen Versuchen mit Gelb, Orange und Weiß dringen im Nachbildstadium die Farben stets allmählich von der

Peripherie nach dem Zentrum vor, so daß das Gelb des Kontrastrahmens regelmäßig als letzte Phase auftritt. Das gilt mit gewissen Einschränkungen auch für die in den nächsten Paragraphen zu behandelnden anderen Reizfarben. Ein »Zurückspringen« der Farben vom Zentrum nach der Peripherie habe ich jedoch hier überall nicht beobachten können. Das tritt aber in mehreren Versuchsreihen mit anderem weißen Lichte, die ich im Folgenden mitteile, ein.

Durch zwei nach Westen gelegene Milchglasscheiben, die in eine an dieser Stelle dunkelgrün gestrichene Tür eingelassen sind, fällt das diffus reflektierte Licht des Morgenhimmels. Fixiere ich bald nach dem Aufstehen, also mit ausgeruhtem, aber nicht besonders dunkeladaptiertem Auge eine möglichst in der Mitte der ganzen beleuchteten Doppelfläche, aber noch auf dem einen Fenster gelegene Marke, so scheidet sich das Weiß der Scheiben bald in einen hellen Rand und einen dunkleren, zuerst rosa, später blaugrau gefärbten Kern. Die angrenzenden Teile der dunkelgrünen Tür überziehen sich nach längerer Beobachtung mit einem hellen, weißlichen, schwach rosa getönten Schein.

Im Sekundärstadium erscheinen bei geschlossenen und durch die übergedeckten Handflächen noch weiter verdunkelten Augen folgende Nachbildphasen:

1) Grünlichgelber Kern mit schmalem Purpurrand und rötlichem Hof.

2) Gesättigt schwefelgelber Kern mit deutlicherem und breiterem Purpurrand und weißlich-blaugrauem Hof.

3) Der Purpurrand zieht sich öfter über das Gelb. Endlich bringt die gesättigte Purpurfarbe des Randes das Gelb vollständig zum Verschwinden. Der bläulichweiße Hof bleibt.

4) Anstatt des Purpurn erscheint dunkles gesättigtes Blau. Die Purpurfarbe legt sich in diesem Stadium öfters wieder über das Blau; Durch Kombination beider Farben können dabei auch indigoviolette Farbtöne entstehen. Beim Wiederhervortreten des Blau sieht es dann manchmal so aus, als ob von dem Blau ein purpurner Vorhang von oben nach unten weggezogen würde. Der Hof zeigt sich jetzt in einer gelblichen Farbe.

5) Das Gelb des Hofes lagert sich wie ein Schleier über das Blau. Dadurch entwickeln sich wohl weißliche grünlich-bläuliche Farbtöne.

6) Endlich bleibt nur ein schwach angedeuteter rötlich-gelber bis gelber Fleck zurück, aus dem das Blau manchmal wieder hervorschimmert.

Der Hof ist in allen Stadien am deutlichsten an der Stelle

des schmalen Türstreifens zwischen den beiden Scheiben entwickelt.

An scharf markierten Farben treten also auch hier nur die drei: Gelb, Purpurn und Blau auf.

Besonders hervorzuheben ist bei diesem Versuche [in ähnlicher Weise übrigens auch schon bei dem Kerzenversuche] das regelmäßige Vordringen der Farben von dem peripheren Hofe über den Rand nach dem Zentrum. Das periphere »Rötlich« des Hofes geht als Purpur nach der Mitte und verdrängt dort das Gelb. Unterdessen ist außen als neue Farbe Blau aufgetreten. Dieses Blau dringt weiter nach dem Zentrum vor und verdrängt dort das Purpurn. Inzwischen ist das zuerst verschwundene Gelb wieder an der Peripherie als Hoffarbe erschienen und zeigt sich dann aufs Neue anstatt des Blau in der Mitte. Latent, ohne deutliche psychische Korrelate, scheint dieser regelmäßige Wechsel noch weiter zu gehen; wenigstens weist das Rötlichwerden am Schluß darauf hin.

Ein ähnliches und ebenso regelmäßiges Vordringen der Farben von außen nach innen und umgekehrt, habe ich im Nachbildstadium nach direkter Fixation der Sonnenscheibe erhalten. Die betreffenden Versuche wurden an einem Januartage bei wolkenlosem, aber etwas dunstigem Himmel angestellt. Die Umgebung der Sonne, auch die weitere, erschien dabei rein weißlich und vollständig frei von blauen Tönen. Bei allen Versuchen wurde die Sonne eine halbe bis eine Minute durch eine dünne weiße Gardine hindurch möglichst konstant fixiert, wobei sie deutlich und relativ scharf umrissen im Gesichtsfelde stand, ohne daß die etwa auftretende schwache Blendung sich irgendwie schmerzhaft oder auch nur wesentlich störend bemerkbar machte. Die Nachbilderscheinungen zeigten sich vollständig konstant, sowohl bei dunkel- als auch bei helladaptiertem Auge, einerlei ob die Retina vorher längere Zeit im Dunkeln oder im Hellen sich ausgeruht hatte, oder ob die Versuche dicht aufeinander folgten.

Im Primärstadium erscheint das runde Sonnenbild in einer schwach grünlichweißen, manchmal auch gelblichweißen Farbe. Um dieses Bild herum entwickelt sich sehr bald ein immer weiter nach außen greifender rosafarbener Hof. Gegen diesen Hof scheint die Scheibe manchmal durch einen dunkleren Ring abgegrenzt zu sein.

Im Nachbildstadium zeigen sich im dunklen Gesichtsfelde nacheinander folgende Phasen:

1) Im Zentrum erscheint wenige Sekunden nach der Verdunkelung ein kleines, rundes, nicht scharf abgegrenztes Sonnenbildchen von deutlich weißlich-blauer Farbe. Die nächste Umgebung dieses bläu-

lichen Bildchens ist grünlich-gelb gefärbt. Dieses Gelb ist von einem zunächst schmalen karmin- bis purpurroten Saum eingefasst. Der so umsäumte grünlich-gelbe Bezirk weist zuerst noch eine unregelmäßig eckige Grenze gegen das übrige, unbestimmt gefärbte, fast ganz schwarze Gesichtsfeld auf.

2) Das grünliche Gelb der Umgebung legt sich über das Blau. Das Blau drängt sich jedoch aus dem Gelb regelmäßig wieder hervor. Dieses Spiel wiederholt sich öfters in nur sekundenlangen Perioden.

3) Bald ergießt sich das Karminpurpurn des Saumes über das ganze Bild und verschleiert dabei das Gelb (und eventuell auch das Blau). Daraus drängt sich dann in der eben geschilderten Weise das Gelb und aus diesem wieder das lichtblaue Sonnenbildchen hervor. Dann geht dieser Prozeß wieder rückwärts und kann sich beliebig oft wiederholen. Das wiederhervortretende Gelb konzentriert sich dabei allmählich zu einer Kreisscheibe, die an Größe das lichtblaue Bildchen nur wenig übertrifft, und nimmt in dieser Periode anstatt des grünlichen einen schwach bräunlichen, manchmal sogar rötlich-bräunlichen Ton an, den es dann in den späteren Stadien beibehält.

In dieser Phase, in der das Purpurrot vorherrscht, kann auf ihm sich zu Zeiten stellenweise das Muster der Gardine durch entsprechende Verdunkelungen bemerkbar machen.

4) Am Rande des Purpurrot hat sich unterdessen ein dunkelblauer Saum gebildet, der allmählich das Purpurn nach dem Zentrum zu drängt, so daß auch diese Farbe bald in einer die übrigen runden Felder nur wenig an Größe übertreffenden Kreisform auftritt. Endlich legt sich das Dunkelblau des Saumes über das ganze Bild, so daß dann nur ein blaues Kreisbild im Gesichtsfelde steht. Aus diesem Dunkelblau treten darauf der Reihe nach das purpurne, aus diesem wieder das gelbe, daraus endlich das lichtblaue Bildchen hervor, eine Farbe von der anderen noch eingefasst oder sie vollständig verdrängend, wobei wohl auch ein oder das andere Bildchen einmal ausbleiben kann. Dann verschlingt das Dunkelblau aufs neue die ganze Erscheinung. Dieses Wechselspiel kann sich jetzt viele Male wiederholen.

5) Um das Dunkelblau hat sich am Ende der Periode 4 ein ungesättigt-graugelblicher Hof gebildet. In diesem schmutzigen Gelb bleibt zuletzt anstatt des Blau nur noch ein unscharf begrenztes schwärzliches »Loch«, in dem nur selten eine Farbenqualität schwach angedeutet ist; so glaube ich, zu Zeiten dort, besonders an den Rändern gegen den gelblichen Hof, Spuren von schmutziggrünlichen Tönen wahrgenommen zu haben. Aber selbst aus diesem Schwarz

treten bis zu allerletzt, bis zum vollständigen Schwinden jeder Differenzierung im Gesichtsfelde, noch Reste des allerersten lichtblauen Sonnenbildchens hervor, als nur wenige Millimeter breite kleine lichtblaue Scheibchen, zeitweise sogar mit undeutlichen, winzigen, gelben und purpurnen Säumen versehen. Nachdem ich mich dann, nach Beendigung der Versuche, bereits eine halbe Stunde im hellen Zimmer aufgehalten hatte, konnte ich dieses hellblaue Bildchen durch Lid-schlag wieder hervorbringen. Ja, ich glaube es sogar am nächsten Tage noch gesehen zu haben: In den Morgenstunden erschien öfter, wenn ich das Auge gegen eine weißgestrichene Tür richtete, auf dieser weißen Fläche ein verwaschener Fleck, der sich aus einer kleinen bläulichen bis grünlich-bläulichen Kreisscheibe und einem ungesättigt-purpurfarbenen Umringe zusammensetzte, und zwar unter einem Gesichtswinkel, der ungefähr dem der Bildchen am vorhergehenden Tage entsprach.

Die Dauer des ganzen Nachbildstadiums habe ich auf fünf Minuten und mehr geschätzt.

Die oben angegebene Farbenfolge Blau, Gelb, Karminpurpur, Blau stimmt mit den Resultaten früherer Beobachter bis auf einen Punkt überein: Zwischen dem Blau und dem »Rot« erscheint ihnen statt des Gelb meist »Grün«, bzw. genauer »Lichtgrün«. Ich habe deswegen in verschiedenen Versuchen besonders genau auf die Qualität dieses »Gelb« geachtet. Die oben geschilderten außerordentlich zahlreichen Oszillationen machten mir die Aufgabe, auf das konstante Merkmal in den Nuancen dieser Farbe acht zu geben, sehr bequem. Nun war allerdings in der Phase 1 und eventuell auch noch in der Phase 2 die Beantwortung der Frage, ob man hier ein sehr »lichtes«, sehr weißliches Grün oder ein grünliches Gelb vor sich hatte, manchmal nicht gerade leicht. Sehr bald nahm aber diese Farbe einen für mein Auge entschieden gelben Ton an. In der Phase 3 verliert sich dann der grünliche Ton vollständig; endlich tritt sogar eine mehr bräunlich-goldige bis rötlichbräunliche Tönung hervor. Ich glaube also, den Sachverhalt durch meine Beschreibung vollständig zu decken, wenn ich diese Farbe Gelb nenne und ihre grünlichen und rötlichen Nuancen zurückführe auf den Einfluß der nicht vollständig abgeklungenen benachbarten blauen und »roten« Farbenprozesse, zwischen die ja das Gelb gleichsam eingekleift ist.

Der eben geschilderte »Sonnenversuch« stimmt in der Hauptsache mit dem früher beschriebenen »Fensterversuch« überein. Die Farbenfolge Gelb—Purpurrot—Blau haben beide gemein. Nach Fixation der Sonne geht jedoch dieser Folge ein lichtes Blau voraus,

während das Schlußgelb des Fensterversuchs hier nicht zentral wird, sondern auf die Umgebung beschränkt bleibt.

Die gleiche Farbenreihe Gelb—Purpurrot—Blau habe ich weiterhin in unzähligen anderen mit gemischtem Lichte der verschiedensten Art angestellten Versuchen erzielt, bald in gleicher, bald in abgeänderter Folge, ohne auch nur einmal ein deutlich entwickeltes und scharf abgegrenztes Grün zu sehen. Dazu gehören schon die in § 3 erwähnten Beobachtungen an dem Kerzenlichte und der untergehenden Sonne. Ebenso gibt die direkt angesehene Flamme eines Petroleumrundbrenners mir stets die Abklingefarben Gelb, Karminpurpur, Blau und zwar in der Erscheinungsweise fast identisch mit der bei dem Kerzenversuch geschilderten. Schon nach dem Auslöschen einer Kerze oder Lampe, oder wenn ich sonst zufällig eine solche Flamme angesehen habe und dann ins Dunkle schaue, erscheint mir diese Farbenfolge, wenn nur die erste Farbe, das Gelb, zufällig in den Blickpunkt des Bewußtseins getreten ist.

Ein im direkten, aber schwachen Winter-Sonnenlichte liegendes weißes Quadrat (von 6 cm Seitenlänge) auf dunklem Grunde ergibt im Primärbilde nur undeutliche Umstimmungen nach Grau-violett, dagegen wieder, wie in den Hauptversuchen, einen deutlichen hellweißen leuchtenden Bildrand und einen schmalen tief schwarzen Kontraststrahlen. Im Nachbilde zeigen sich dann die Farben: bräunlichgoldiges Gelb, relativ gesättigtes Purpurn und Blau.

Ein ähnliches Quadrat, mit Petroleumlicht beleuchtet, zeigt im Primärbilde die grau-violette Verfärbung des Kerns deutlicher. Im Nachbilde habe ich bei verdeckten Augen zwei Phasen gesehen, die fast genau mit den entsprechenden Bildern des am Anfange dieses § geschilderten Versuchs übereinstimmen, und zwar:

- 1) schön blauen Kern, dunkelpurpurnen Rand und gelblichen Kontraststrahlen
- 2) purpurnen Kern, dessen Farbe bald in Rosapurpur übergeht, und gelblichen Kontraststrahlen, dessen Gelb nicht mehr zentral wird.

6) Versuche mit Grün I.

1) Primär: Der graugrün werdende Kern weist Verfärbungen nach Gelb, Blau und Violett auf. Gelb und Blau können dabei in einem Bilde fleckig kombiniert auftreten. Durch diese Verfärbungen erscheint dann der Kern gelbgrün, blaugraugrün oder für Augenblicke mit einem lilafarbenen Schein überzogen. Auch hier kann sich ein oszillatorisch verlaufender Wechsel zwischen gelblich getöntem Hell und blaugrau gefärbtem Dunkel einstellen.

Der Rand zeigt sich hell-weißlich-grün, der Kontraststrahlen dunkel mit purpurvioletten gegenfarbigen Streifen, der Hof grünlich, weiter außen an der Peripherie violett. Dieses Violett dringt später bis zum Kontraststrahlen vor und verdrängt dort das Grün ganz oder teilweise.

II) Sekundär: In dem Kerne erscheinen nach einander die Farben: Rosapurpur (mehr oder minder hell) Dunkelviolett, Dunkelblau, lichtschwaches Gelb.

Der Kontraststrahlen ist einheitlich rein gelb bis dottergelb gefärbt. Der Hof schwankt zwischen rötlich-violetten und bläulich-violetten Tönen.

Im Folgenden schicke ich stets die Kernfarbe der betreffenden Phase der genaueren Beschreibung der in ihr auftretenden Bilder voraus:

1) Rosapurpur: Die erste Nachbildphase zeigt ähnlich wie II₁ des Gelb (Figur II₁) violetten Hof, gelben Kontraststrahlen, dunkel-purpurvioletten Bildrand, aber statt des blauen einen mehr oder minder hellen rosapurpurnen Kern.

2) Dunkelviolett: Die Farbe des dunklen Randes verdrängt wieder wie bei dem gelben Reiz, hier aber schneller, die hellere Kernfarbe der Phase 1, so daß endlich ein II₄ (Figur II₄) sehr ähnliches Bild entsteht, das aber hier sofort etwas bläulicher getönt ist.

3) Blau: Ohne besondere Gestaltveränderung zeigen sich in dem immer dunkler werdenden violetten Bilde mehr und mehr ungesättigte blaue Töne, bis endlich ein nicht sehr deutliches, dunkles, zeitweise fast schwarzes Blau übrig bleibt.

4) Übergang von Blau zu Gelb: In der Mitte des Blau tritt ein hellerer, ungesättigt-grünlicher Fleck auf. Das Vorhandensein einer Gelberregung an dieser Stelle verrät sich dadurch, daß dieses Grün zwischen bläulichen und gelblichen Tönen hin und her schwankt. Manchmal kann das »Grün« das »Blau« an einigen Stellen auch bis an den Rand hin verdrängen.

5) Gelb: Zuletzt ist ein lichtschwaches, ungesättigtes, gelbliches bis grünlichgelbliches, nicht scharf begrenztes Bild sichtbar.

Bei »Wiederbelebung« tritt ein unscharfes, gelbliches bis grünlichgelbliches lichtschwaches Bild mit bräunlichem, violetter oder bläulichem Fleck in der Mitte auf.

Das hier an letzter Stelle (Phase 5) gesehene Gelb kann bei kürzerer Exposition zwar flüchtig, aber doch deutlich, auch an zweiter oder sogar an erster Stelle in der Reihe der Hauptfarben auftreten.

Bei einer zweiten Versuchsreihe wurden folgende Abweichungen festgestellt:

I) Im Primärbilde schwanken die Farben des Hofes zwischen bläulichvioletten, gelblichgrünen und graugrünen Tönen hin und her. Oft sind dabei die grünlichen Nuancen im Übergewicht, besonders dann, wenn sämtliche Konturen des Bildes unsicher zu werden beginnen. In diesem Falle fließen gleichsam Hof- und Bildfarbe zu einem einheitlich grünlich gefärbten Grunde zusammen. Die weitgehende Selbständigkeit der Erregung im Bezirke des Kontrastrahmens zeigt sich aber dabei in ähnlicher Weise, wie in den Nachbildpausen der gelben Reizfarbe. Wie dort (Figur II_p) das Violett des Hofes das Gelb des Rahmens nicht vollständig unterdrücken konnte, so scheint auch hier der dunkle Kontrastrahmen mehr oder minder deutlich wie unter einem grünen Schleier hindurch; ebenso wird auch der helle Bildrand nur teilweise und unvollständig von dem übergreifenden Grün verdeckt.

Ein solches Verschwimmen des Primärbildes in den Hof hinein habe ich deutlich nur bei diesem dunklen Grün und bei Blau beobachtet, trotzdem die anderen Reizfarben zum Teil viel größere objektive Intensität besaßen. Bei diesen beiden Farben trat die Tendenz dazu schon bald nach Beginn der Exposition ein. Die Nachbilder wurden dann, wenn man diesem Zuge sich hingab, wohl infolge der Inkonstanz der Blickrichtung leicht undeutlich. Durch eine feste Richtung des Willens auf scharfe Fixation und besonders auf genaue Akkommodation konnte jedoch der Augenblick des vollständigen Verschwimmens weit hinausgeschoben werden.

II) In einem der Versuche dieser zweiten Versuchsreihe zeichneten sich die »Pausen« dadurch aus, daß in ihnen das Gelb des Kontrastrahmens, ohne sich wesentlich zu verdunkeln, die Kernfarbe, z. B. das Rosapurpur, verdrängte und so das ganze Innere ausfüllte. Es erschien dann in dem dunkeln, schwach violetten Hofe ein scharf abgegrenztes, einheitlich gelb gefärbtes Bild. Eine weitere Verdunkelung konnte jedoch in diesen Pausen dadurch zustande kommen, daß sich das dunkle Violett des Hofes wie ein Schleier über dieses Gelb des Inneren hinüberlegte. Die »Hauptfarben« Purpurviolett und Blau tauchten dann manchmal aus der Mitte dieses Gelb zuerst wieder auf.

6a) Versuche mit Grün II.

Mit dieser Farbe wurden nach vorangegangener Dunkeladaptation mehrere kurz hintereinander folgende Expositionen von 20 bis 60 Se-

kunden Dauer vorgenommen, die nur durch die Beobachtung der Nachbildphasen unterbrochen waren. Nach dreimaliger Wiederholung der Reizung ergaben sich dann im Sekundärstadium folgende von den Befunden beim dunklen Grün abweichende Besonderheiten:

Das Gelb des Kontrastrahmens erstreckt sich weiter in die Peripherie hinein und bildet somit zugleich die charakteristische Farbe des inneren Hofes.

Aus dem hier helleren, mehr indigoviolett getönten Blau arbeitet sich an verschiedenen Stellen das Rosa wieder hervor.

Das Gelb des Rahmens und Hofes lagert sich öfter über das Blau. Bald treten dann mehr gelbe, bald mehr blaue, bald auch scheinbar durch »Mischung« verursachte, ungesättigte, mehr grünliche Töne hervor. Diese Töne können wieder in einem Bilde neben einander liegen. Das Grün zeigt sich dann besonders an den Stellen, wo das Gelb in das Blau übergeht.

Blickt man auf die in § 6 und 6a beschriebenen verschiedenen Fälle der Grünreizung zurück, so zeigen sich, ganz ähnlich wie bei Gelb, Orange und Weiß, auch hier im Verlaufe des Abklingens nur drei von einander abgehobene, charakteristische Farben, nämlich ein Purpurton, Blau und Gelb.

7) Versuche mit Blau.

1) Der sich im Primärbilde herausarbeitende graublaue Kern zeigt bald mehr violette, bald auch grünliche Tönungen, die sich manchmal ruckweise ablösen können. In einem Falle waren in dem Kerne sogar bräunlichgelbe Flecken zu sehen.

Der Bildrand ist weißlich-bläulich gefärbt. An der Grenze gegen den Rahmen treten in ihm zu Zeiten schmale, gesättigt-blaue Streifen hervor.

In dem Kontrastrahmen erscheinen die gegenfarbigen Streifen in dunkelrotbrauner Farbe.

Im Hofe wechseln im Raume und in der Zeit schwach gelblich-grünliche mit blauvioletten Farbentönen, in einem anderen Versuche schwach gelbe mit blauen, in einem dritten überwiegen die grünlichen (wenig gelblichen) Töne.

Auch bei dieser Reizfarbe verschwindet, wie das in § 6 bereits erwähnt wurde, das ganze Bild leicht in einem einheitlich gefärbten bläulichen Grunde.

II) Das Sekundärstadium weist eine weitgehende Übereinstimmung mit dem Befunde beim Grün I auf. Nur erscheint hier öfters in der zweiten oder seltener in der ersten Phase ein orangebräunlicher Kern. Demnach sind die im Kern nach einander auftretenden Farben die folgenden: 1) Rosapurpur; 2) Orangebräunlich; 3) Dunkelviolet; 4) Dunkelblau; 5) Ungesättigtes, weißliches, bläuliches bis gelbliches Grün; 6) Lichtschwaches Gelb bis grünliches Gelb; 7) bei Wiederbelebung: Hellrötliches Violet, dann Gelblich mit rötlichem oder bläulichem Fleck in der Mitte.

Die grünliche Phase (5) ist deutlicher und selbständiger entwickelt als beim Grün I. Das dunkle Blau kann für Augenblicke in diesem Stadium vollständig verdrängt werden.

Der Hof erscheint im Nachbilde in einer hellrötlich-violetten bis bläulich-violetten Farbe.

Die Pausen zeigen, sofern ihre Farbe überhaupt festgestellt werden konnte, eine ähnliche Gestaltung wie die beim Grün I auf S. 199 dargelegte. Wie dort, verdrängt auch hier das Gelb des Kontrastrahmens die Kernfarbe [bzw., sofern dieser Unterschied noch vorhanden ist, Kern- und Randfarbe zugleich]. In einem ohne besondere vorangegangene Dunkeladaptation angestellten Versuche war dieses von einem hier rötlichvioletten Hofe umrahmte gelbe Bild nur zum Schluß des Abklingens deutlich zu sehen. In diesem Falle machte sich jedoch das Gelb in der blauen Nachbildphase schon in ähnlicher Weise bemerkbar, wie das bei dem hellen Grün II auf S. 200 beschrieben ist: Das Gelb des Kontrastrahmens breitet sich wie dort über das hier sehr dunkle Blau. (Dieses »Hinüberfließen« des Gelb über das Blau war deutlich zu sehen.)

8) Versuche mit Rot I.

1) Primärstadium: Der dunkle Kern färbt sich im Laufe der Beobachtung nach dem Blau oder Gelb hin um. Zuerst überzieht ein violetter Schleier das Rot des Kerns. Aus diesem Schleier treten manchmal gelblich-bräunliche bis rötlich-bräunliche Flecken hervor. Dann legt sich in manchen Versuchen ein dunkler graublauer Schatten über den Kern, der von dem Rot nur wenig übrig läßt. Bei etwaigen Wiederaufhellungen können im Kern bräunliche und bläulichviolette Töne nebeneinander auftreten.

Der Bildrand hat eine weißlichrötliche Farbe. Der dunkle Kontrastrahmen zeigt blaugüne gegenfarbige Streifen.

Der Hof erscheint in einem lichtschwachen, weißlichen, rötlich-violetten Farbentone.

II) Sekundärstadium: 1) Ein verhältnismäßig heller blaugrüner Kern ist von einem dunkelgrünen Rande umgeben. Die Differenzierung in Kern und Rand tritt jedoch deutlich nur in diesem ersten Bilde hervor. Statt des blaugrünen kann auch sofort ein hellblauer, grün gefleckter Kern auftreten. Der weißliche Kontrastrahmen hat einen schwachrötlichen Anflug. Der Hof ist, wie im Primärbilde, rötlich-violett gefärbt.

2) In der nun folgenden, wie auch in allen nächsten, die deutlicheren Bilder unterbrechenden Pausen breitet sich die weißlich-rötliche und jetzt etwas lichtschwächere Farbe des Kontrastrahmens wie ein Schleier über Rand und Kern. Wird dabei die Kernfarbe vollständig verdrängt, so entstehen Bilder, ähnlich dem beim Grün I auf S. 199 beschriebenen; nur ist hier ein weißlich-rötliches Bild von einem rötlich-violetten Hofe eingerahmt. Unter dem Schleier kann jedoch der jetzt bereits einheitlich gewordene Kern-Randbezirk mit seiner grünlichblauen Farbe ganz oder teilweise wieder hervorschiimmern.

In gleicher Weise kann sich der Schleier über das später auftretende reine Blau legen, wobei dann entweder Schleier- und Kernfarbe beide sichtbar bleiben oder auch indigoviolette Mischöne auftreten.

3) Das Blaugrün des Kerns schlägt in nur wenigen Übergangsbildern schnell in ein reines Blau um, das sich dann oft wiederholt, unterbrochen von den eben gekennzeichneten, mehr oder minder deutlichen, lichtschwächeren Pausen. Selten kehrt in diesem Blau das Grün in scharf abgegrenzten grünlichen Tupfen wieder.

4) Der jetzt mehr rötliche, manchmal auch ungesättigt-rötlich-violette Schleier legt sich fester über das Blau. Vom Hof ist und bleibt er durch seine größere Helligkeit abgehoben, so daß also jetzt ein von dem dunkleren rötlichvioletten Hofe umrahmtes helleres rötliches bis rötlich-violettes Bild zu sehen ist. Das Blau kann nur stellenweise diesen Schleier vollständig lüften. Manchmal macht es auch den Eindruck, als ob der ganze blaue Kern wieder durchschimmere, wobei dann der Kern wohl einen entschiedener violetten Ton annimmt.

5) Zuletzt bleibt nur ein lichtschwaches rötliches bis gelblich-rötliches, von dem dunkleren Hof eingerahmtes Bild übrig. Auch in diesem letzten Stadium können jedoch stellenweise noch blaue Töne angedeutet sein.

Beim Rückblick auf den eben geschilderten Empfindungsverlauf

ergeben sich folgende Resultate: In den Verfärbungen des Primärbildes sind Gelb und Blau bestimmt angedeutet. Im Sekundärstadium zeigen sich Blaugrün und Blau als charakteristische Farben. Während jedoch das Grün sehr bald verschwindet, zieht sich das Blau durch alle Bilder vom Anfang bis zum Ende des Abklingens hindurch. Die gelblichen, rötlichen und violetten Töne sind hingegen in den Nachbildern nur in wenig gesättigten und manchmal schwer zu bestimmenden Nuancen vertreten.

9) Versuche mit Purpurviolett.

I) Primärbild: Im Kern sind deutliche Verfärbungen nach Blau und Braun bemerkbar. Schon bald nach Beginn der Reizung nimmt das Bild einen bläulichen Ton an. Nach einiger Zeit differenziert sich der Kernbezirk in rötliche und bläuliche, später in bräunliche und bläuliche Flecken, oder es erscheinen hellere bräunliche Tupfen auf einem dunkelgraublau-violetten Grunde. Aus dem Dunkel kann dann zu Zeiten wieder ein helleres, gleichmäßigeres Purpurviolett hervorleuchten.

Der Bildrand ist hell rötlich, die gegenfarbigen Streifen in dem dunklen Kontrastrahmen sind grün gefärbt.

Im Hof wechseln rötlich-violette mit bläulich-violetten Farbtönen. In der Umgebung des Rahmens können diese auch durch bräunliche Nuancen ersetzt sein.

II) Sekundärstadium: 1) Ein heller gelblichgrüner Kern ist von einem dunklen Rand umgeben. Auf diesen folgt der helle, fast weißliche, gelblich-rötliche, später deutlich gelbe Kontrastrahmen, der nur in einem der Versuche die »wimmelnden Würmer« zeigte. An der Peripherie schließt der Hof mit schwankenden violetten Tönen das Bild ab.

2) In den Pausen verdeckt entweder die dunkle Farbe des Hofes das Bild, oder es treten wieder jene schon öfters gekennzeichneten helleren und gegen den Hof abgegrenzten rosafarbenen bis gelblichen Verschleierungen auf, die Konturen und Farben bald vollständig verwischen, bald mehr oder minder deutlich durchschimmern lassen.

3) In den nun folgenden Phasen eilt der Rand dem Kern stets etwas voraus, verschwindet aber dann bald als selbständiger Bezirk. Das Grün des Kerns schlägt jetzt in nur wenigen (zwei bis drei) Übergangsbildern in ein reines Blau um. Dieses Blau wiederholt sich dann, durch Pausen unterbrochen, mehrere Male (ungefähr zehnmal). Zu Zeiten scheinen durch das Blau schwach grünliche Töne

wieder durch. Gegen den Schluß dieser Blauphase des Abklingens tritt dann wohl in der Mitte des Blau ein rosafarbener, oder auch, wie in einem anderen Versuche beobachtet wurde, ein gelber Fleck hervor.

4) Das Blau wird abgelöst durch das jetzt relativ reine Gelb des Kontrastrahmens, das in diesem Stadium sich über das ganze Innere des Bildes erstreckt. Die Differenzierung in Kern und Rahmen ist damit verschwunden.

5) Über dieses Gelb kann sich das Violett des Hofes lagern. Dabei können wie beim Weiß bräunliche Mischöne entstehen, oder das Violett verdrängt das Gelb vollständig, und es erscheint dann ein von dem dunklen Hofe umrahmtes helleres rötlich-violettes Bild. —

Ähnliche Befunde ergaben einige weitere Versuche, die unter etwas anderen Reizungsbedingungen ausgeführt wurden:

Nach momentaner Reizung des schwach helladaptierten Auges finden sich, von einem undeutlichen Hofe umrahmt, nachstehende Farben ein: Purpurn, bräunliches Gelb, rötliches Violett, durch Violett verschleiertes Blau.

In einer anderen Versuchsreihe wurde die Reizung in der Art vollzogen, wie sie beim Grün II in § 6a gekennzeichnet ist. Auf eine längere, über zwei Minuten sich erstreckende Exposition folgten, nur durch die Beobachtung des jeweiligen Abklingens unterbrochen, mehrere kürzere. Nach einer solchen, fünf bis zehn Sekunden dauernden Darbietung des Reizlichtes erschienen dann im Sekundärstadium, wieder von einem rötlichvioletten Hofe umrahmt, flüchtig ein rosa-violettes, ein rötlichgelbes und ein gelblichgrünes Bild. Die dann folgenden, sich öfter wiederholenden blauen Bilder zeigten folgende besondere Einzelheiten: Das erste blaue Bild war in der Mitte gelblich-grünlich gestreift. Unmittelbar darauf entwickelte sich aus diesen grünen Streifen ein schön-gelber Fleck und zwar so, daß es direkt den Eindruck machte, als wäre die in dem vorangegangenen Bilde vorhandene grüne Streifung durch unter das Blau «untergelegtes» Gelb zu stande gekommen.

Eine Übersicht über die eben geschilderten Empfindungstatsachen ergibt folgende charakteristische Farbenqualitäten: Grün, Blau, Gelb und Purpurviolett. Gelb und Blau treten neben dem Purpurn der Reizfarbe schon im Primärbilde deutlich hervor, und zwar das Gelb zu Braun modifiziert. Im Nachbilde ist Blau die bei

weitem beständigste Farbe. Grün hingegen schlägt mit nur wenigen Übergängen sehr bald in Blau um. Gelbe und purpurviolette, seltener bläulichviolette Farbtöne sind meist (aber nicht immer) weniger bestimmt und in geringeren Sättigungsgraden vertreten.

10) Versuche mit Rosapurpur.

Die spektrale Zerlegung erweist diese Reizfarbe als eine Mischung von Blaurot und Orange. Dementsprechend erscheint in der Empfindung eine Kombination der beim Orange und beim Purpurviolett festgestellten Bilder:

I) Im Primärbilde konnte nur eine undeutliche Verfärbung nach dem Braunrot hin konstatiert werden. Sonst ist der Befund ein ähnlicher wie beim Purpurviolett.

II) Das Abklingen verläuft in einer mit der beim Orange gesehenen fast übereinstimmenden Bilderfolge. Das Blau ist hier jedoch durch Grünblau ersetzt. Ferner sind die dunkelvioletten Töne nur zu Anfang im Bildrand vertreten. Das die Erscheinungsreihe beschließende lichtschwache »gelbe« Bild ist mehr rötlich-bräunlich getönt. Die Pausen sind zuerst rein gelb, dann undeutlich violett gefärbt. Demnach zeigt sich im Nachbildstadium die Farbenreihe: Grünblau, Rosa, aus dem Rosa wieder hervortretendes Blau, rötlich bräunliches Gelb, daneben das reine Gelb der Pausen.

11) Zusammenfassung.

Die allen Bildern [der Hauptversuche] gemeinsame Differenzierung in vier gesonderte Bezirke ist bereits in § 2 besprochen worden. Ich brauche deswegen hier nur auf die in diesen Bezirken auftretenden Farbenqualitäten einzugehen.

1) Hof: Im Hofe ist bei allen Reizfarben ein Purpurviolett vertreten, das meist noch zu den Purpurtönen zu rechnen ist. Mehr bläuliche Nuancen dieser Hoffarbe gehen, wie das im Primärbilde bei Blau und im Nachbilde bei Orange geschah, leicht in ein reines Blau über. Ein spektrales Rot ist hier nie festgestellt worden. Ebenso findet sich Gelb selten rein, sondern gemischt mit Grün oder modifiziert zu bräunlichen bis rotbräunlichen Tönen. Noch weniger bestimmt ist das im Hofe beobachtete Grün; meist bildet es — räumlich und zeitlich — den Übergang von gelben zu blauen Farbtönen. Alle diese Hoffarben stehen zwar öfters der Reizfarbe oder ihrer Gegenfarbe nahe, sie sind jedoch durchaus nicht immer mit ihnen identisch. In den Pausen legt sich die Hoffarbe öfters wie ein Schleier über das ganze mittlere Bild.

2) Kontraststrahlen: Der im Primärbilde dunkle, meist mit den gegenfarbigen Streifen versehene Rahmen zeigt im Nachbilde eine hellweißliche, zunächst nur schwach gelbliche Färbung. Dieses »Gelblich« ist nur beim Rot durch »Rötlich« ersetzt. Im weiteren Verlaufe des Abklingens findet sich hier meist ein reineres Gelb von höherer Sättigung ein. Dieses Gelb erscheint manchmal schon in den Pausen in der Mitte, stets aber tritt es in mehr oder minder ungesättigten Modifikationen als Schlußfarbe des Abklingens in den Kern ein.

3) Bildrand: Der im Primärbilde intensiv helle, oft fast weiße Rand ist im Nachbilde von seiner Umgebung durch eine deutliche Verdunkelung abgehoben. Zu Beginn des Sekundärstadiums ist er meist anders gefärbt als der Kern. Seine Farbe greift aber fast stets in der nächsten Phase auf den Kern über und verdrängt endlich die dort vorhandene Qualität, so daß dann ein einheitlich gefärbter Kernrandbezirk in die Erscheinung tritt.

4) Kern: Im Sekundärstadium klingen an dieser Stelle fast alle Reize in drei relativ scharf von einander abgehobenen, charakteristischen Farbenqualitäten ab; diese sind: Blau, ein Purpurton und Gelb. Das Blau tritt dabei in einer verhältnismäßig hohen Sättigung auf. Der Purpurton zeigt sich in ungesättigteren, rosafarbenen bis purpurvioletten Nuancen. Nur in den Versuchen mit Sonnen-, Kerzen- und Petroleumlicht habe ich oft ein hochgesättigtes Karmin- bis Purpurrot und ein ebensoreines Gelb gesehen. Das Gelb weist sonst nur in den Pausen eine mittlere Sättigung und Helligkeit auf. Dagegen ist das fast überall am Schluß des Abklingens sich einfindende Gelb lichtschwächer und ungesättigter.

Sehr deutlich und scharf von einander getrennt treten diese drei Farben beim Weiß und bei den hellen Reizfarben Gelb und Orange hervor. Ebenso bilden sie bei den grünen und blauen Reizen im Sekundärstadium die hervorstechenden Farbenqualitäten. Nur schiebt sich bei ihnen zwischen Blau und Gelb ein ungesättigtes bläuliches bis gelbliches Grün ein. Dieses Grün ist jedoch, weder, was die Abgrenzung gegen benachbarte Farbentöne, noch auch, was die Reinheit betrifft, in gleicher Weise scharf markiert, wie die genannten drei Farben.

Bei Rot und Purpurviolett setzt das Abklingen mit einem relativ gesättigten Blaugrün, bzw. Grün ein. Jedoch schlägt in beiden Fällen dieses Grün sehr schnell in ein im Gegensatz dazu außerordentlich beständiges Blau um. Ferner steht dieses Grün öfters in einer eigentümlichen Beziehung zu Gelb und Blau; am deutlichsten trat dies

Verhältnis in einem beim Purpurviolett beobachteten Falle hervor. Dort entpuppten sich gleichsam grünliche, in der Mitte des blauen Kerns erscheinende Streifen im nächsten Augenblicke, nachdem das Blau an dieser Stelle verschwunden war, als ein deutlicher gelber Fleck.

Die rötlichvioletten und gelben Phasen des Abklingens konnten bei roter und purpurvioletter Reizfarbe ebenfalls festgestellt werden. Jedoch sind sie hier weniger gut als sonst entwickelt.

Im Folgenden werde ich die im Sekundärstadium prävalierenden drei Farben stets als die drei Hauptfarben des Abklingens bezeichnen. Diese »Hauptfarben« sind demnach Blau, ein Purperton und Gelb. Die Berechtigung dieser Bezeichnung wird weiterhin gestützt durch die Tatsache, daß auch die im Primärstadium auftretenden Verfärbungen deutlich die Richtung nach den drei genannten Farben einschlagen.

Diese drei Farben aus den übrigen herauszuheben und durch den Begriff »Hauptfarbe« auszuzeichnen, würde nicht angängig sein, wenn zwischen ihnen regelmäßig Übergänge vorhanden wären. So erscheint aber der Befund in den seltensten Fällen. Meist geht die eine Hauptfarbe unstetig und ohne Übergang in die nächste über. Sind aber mehrere Hauptfarben zugleich vorhanden, so »verschmelzen« diese in der Mehrzahl der Fälle nicht miteinander; sondern fast immer macht ein solches gleichzeitiges Vorhandensein den Eindruck des Wettstreites, des Kampfes um den Vorrang in der Empfindung. An diesem Wettstreit können nicht nur zwei, sondern sogar alle drei Hauptfarben teilnehmen, wie in II₆ beim Gelb (Figur II₆): hier gibt das zuerst auftretende Blau das Feld bis zum Schluß nicht frei; oder noch weitergehend bei dem »Sonnenversuche«, in dem z. B. das erste lichtblaue Bildchen sich aus dem schwärzlichen Fleck der fünften Phase noch bis zuletzt wieder hervordrängt. Die gerade im Übergewicht befindliche Hauptfarbe kann dabei von der in der vorhergehenden Phase vorherrschenden aus dem Kern vollständig wieder verdrängt werden.

Eine besonders eigenartige Form nimmt dieser Wettstreit in jenen bei allen Reizen festgestellten eigentümlichen Verschleierungen an, bei denen oft die verschleierte Farbe durch den Schleier hindurch wie durch eine durchscheinende Decke sichtbar bleibt. Dabei sieht man oft direkt, wie die neue Farbe über die vorhandene gleichsam »hinüberfließt«, oder in anderen Fällen wieder, wie der Schleier von dem Grunde weggezogen wird. Oft ist es bei diesen Verschleierungen nicht leicht zu beurteilen, ob man es mit zwei gesonderten Farben

oder mit einer Mischfarbe zu tun hat [so in II₅ bis II₇ bei Weiß, oder noch deutlicher der gelbe Schleier über dem Blau bei den Reizen Grün II und Blau]. Eben durch diese Unsicherheit des Urteils ist aber gerade der Charakter der dabei sich gegebenenfalls zeigenden einheitlichen Farbentöne festgelegt: Sie sind nicht als relativ selbständige Übergangsfarben, sondern als »Mischfarben« zu bezeichnen, als Produkte der Verschmelzung der oben genannten drei Hauptfarben.

II. Abschnitt: Geschichte.

Mit dem »Abklingen der Farben« hat sich zuerst eingehend und nach methodischen Gesichtspunkten G. Th. Fechner beschäftigt (»Über die subjektiven Nachbilder und Nebenbilder«, Pogg. Ann. Bd. 50, 1840, S. 193—221 und S. 427—470; einige wichtige Bemerkungen schon in der Abhandlung: »Über die subjektiven Komplementärfarben«, Pogg. Ann. Bd. 44, 1838, S. 221—245 und S. 513—535). Von früheren Beobachtern sind nur wenige und oft ungenaue Aufzeichnungen über diesen Gegenstand gemacht worden. So gibt z. B. Goethe an (Farbenlehre I, S. 29, Cotta 1867), daß er nach Reizung durch einen hellen Fleck, der im sonst dunklen Zimmer durch Sonnenlicht auf weißem Papier erzeugt wurde, beim Blick ins Dunkle gesehen habe: Hell farblos, »einigermaßen Gelb« mit purpurfarbenem Rande, Purpur mit blauem Rande und Blau mit »unfärbigem« Rande, also Farben, wie ich sie nach Reizung durch gemischtes Licht in genau der gleichen Reihenfolge sehr oft gesehen habe.

Besonders umfangreich ist die Zahl der Versuche, die Fechner mit dem Lichte der Sonne angestellt hat. Die Verfärbungen im Primärbilde erhielt er dabei am besten, wenn er ein weißes, im direkten Sonnenlichte auf schwarzem Grunde liegendes Papierblatt nach kurzer Dunkeladaptation fixierte (Bd. 50, S. 206). Im ersten Augenblicke zeigte sich dann infolge von »Blendung« eine gewisse Unbestimmtheit in der Erscheinung. Bald färbte sich aber das Papier für kurze Zeit »entschieden gelb«. Die gelbe Phase wurde dann durch eine »oft ziemlich lange« blaugraue oder blaue abgelöst, diese wieder durch Rotviolett oder Rot. Eine weitere Phase war nie zu sehen. Eine »Übergangsfarbe durch Grün« zwischen dem Gelb und dem Blau war »bei oftmaligen Versuchen« (d. h., füge ich hinzu, trotz eifrigen Suchens) nie zu finden. Demnach stimmen die gefundenen drei Primärfarben Gelb, Blau und Rot bis Rotviolett genau mit meinen drei Hauptfarben überein.

Als Objekte zur Erzeugung möglichst intensiver Nachbilder dienten Fechner:

α) Das Licht weißer Wolken, durch eine 4,4 cm breite kreisförmige Öffnung im Fensterladen angesehen,

β) eine »ungefähr gleichgroße Scheibe weißen Papiers auf schwarzen Papier, im direkten Sonnenlichte betrachtet«,

γ) ähnlich wie β, aber das Sonnenlicht durch ein »großes Brennglas« auf das weiße Papier »konzentriert«,

δ) die Sonne, »direkt und momentan« angeschaut. Bei α—γ dauerte die Exposition eine halbe bis eine Minute. (50, S. 450; Beschreibung des Abklingens überhaupt: 50, S. 445—470.)

Am Rande und in der Umgebung des Nachbildes unterscheidet Fechner »Saum«, »Umring« und »Randschein« (S. 448), Bezeichnungen, die sich in mehreren Fällen mit den von mir gebrauchten Ausdrücken Bildrand, Kontraststrahlen und Hof zu decken scheinen. Ganz ähnlich, wie in meinen Versuchen, wandern die Farben während des Abklingens von der Peripherie nach dem Zentrum.

Durch plötzliches Zulassen reagierenden Lichtes sprang, wenn vorher die Nachbilder im dunklen Gesichtsfelde beobachtet waren, der Prozeß des Abklingens im allgemeinen von der grade vorhandenen auf die nächste Phase über. (Bd. 50, S. 215.)

Alle oben angegebenen vier Methoden ergaben im Nachbildstadium ungefähr dieselben Resultate, die besten δ, dann γ. Die einzelnen, bei geschlossenen und mit den Händen verdeckten Augen sich entwickelnden Phasen zeigten folgenden Farben:

1) Phase: Weiß, nur deutlich nach δ.

2) Phase: Lichtblau, schnell vorübergehend, nur bei δ von einiger Dauer.

3) Phase: Lichtgrün mit rotgelbem Saume auf grauem oder schwarzem Grunde; allmählich entwickelt sich ein dunkelroter Umring mit blauem Saume.

An dieser Stelle weicht der Befund Fechners von dem meinen ab. Nun gibt aber doch das, was Fechner über die Nuancierung dieses »Lichtgrün« erwähnt, allerlei zu denken. An einer früheren Stelle (50, S. 210) stellt er die allgemeine Regel auf, daß nach Überschreitung einer gewissen Reizdauer und Intensität des weißen Reizes der Verlauf des Abklingens im dunklen Gesichtsfelde eine konstante Farbenfolge zeige, nämlich Weiß-Blau-Grün-Rot-Blau. Bei einer etwas geringeren, als der zur Konstanz notwendigen Lichtintensität träte an Stelle des Grün »vielmehr helles Rotgelb als Grün«, oder auch Nuancen von Grün und Rotgelb.

Was sagt nun aber unser Autor auf S. 452, wo er die »grüne« Phase genauer beschreibt: »Nach starken Lichteinwirkungen ist das Grün sehr rein, nach stärkeren oft mehr gelbgrün oder schreitet durch verschiedene Nuancen des Grün und Gelbgrün durch; auch habe ich in solchen Fällen (namentlich öfters bei Methode β) eine bestimmte rotgelbe Phase (heller als der Grund) zwischen der hellgrünen und der folgenden dunkelroten unterscheiden können, welche sich vom rotgelben Saume aus entwickelt.«

Wie liegt also die Sache?: Bei unzureichender Intensität überhaupt kein Grün, bei starken Reizen ein »sehr reines Grün«, bei noch stärkeren oft mehr gelbgrün, außerdem noch oft gefolgt von Rotgelb: Ja, meine ich, da bleibt doch im Grunde genommen von der »Konstanz des Grün« recht wenig übrig. Zunächst ist ein »lichtes« Grün — die von mir in dieser Phase beobachtete Kernfarbe war sehr »licht«, oft fast weiß — sehr schwer auf seine Reinheit hin zu beurteilen. Ferner, wenn sowohl bei verhältnismäßig schwachen wie auch bei relativ starken Reizen Nuancen von »Gelbgrün« und »Rotgelb« auftreten, so ist doch der eigentliche Sachverhalt der Fechnerschen Befunde folgender: Die wirklich konstante Farbe dieser Phase ist Gelb; von diesem Gelb treten das eine Mal mehr grünliche, das andere Mal mehr rötliche Nuancen, manchmal auch beide Modifikationen nacheinander auf. Und dieser Tatbestand stimmt dann genau mit dem von mir in meinen »Sonnenversuchen« gefundenen überein (vgl. S. 194—196). Insbesondere auf Grund des sich sehr oft und bis zum Schluß des Abklingens wiederholenden Rückwärtsschreitens der einzelnen Phasen konnte ich mit Sicherheit Gelb als die Hauptfarbe dieser Phase ermitteln. Übrigens hat auch Fechner selbst nach Reizung durch die Sonne (δ) »in den späteren Perioden des Nachbildes«, allerdings erst »durch Öffnung der Augen«, »ein sehr intensives Gelb« erhalten.

4) Phase: **Dunkelrot** mit blauem Saume, der sich allmählich zum blauen Umringe entwickelt, und weißlichem, eventuell grün nuanciertem Randscheine.

5) Phase: Gewöhnlich **dunkelblau**, nach intensiver Beleuchtung stets rein und bleibend; der Randschein wird allmählich gelblich oder weißlich; bei schwächeren Reizen anstatt des Dunkelblau wohl auch »Lila, zuletzt beim Undeutlichwerden in Schwarzgrün übergehend, oder auch die ganze Phase blaugrün«. Der Randschein »verschlingt... zuletzt... das Phänomen«.

Diese von Fechner angegebenen Phasen stimmen bis auf das »Grün« im wesentlichen mit den von mir gefundenen überein. Das

Weiß konnte ich natürlich bei den von mir angewandten Reizarten nicht erhalten. Das »Rot« hatte bei mir stets mindestens einen Stich ins Purpurfarbene; nur wenn diese Farbe sich über das Gelb ausbreitete, konnten an der Grenze gegen dieses Gelb wohl auch rote oder gelbrote Nuancen auftreten.

Die oben aufgezählte Farbenfolge wird ausgelöst durch einen Weißreiz, der die zur »Konstanz« nötige Dauer und Intensität besitzen soll. Ein nur momentan dargebotenes weißes Papier, auf schwarzem Grunde im direkten Sonnenlichte liegend, erzeugte in Fechners Auge die Nachbildfarben (50, S. 220): Schönes Hellblau, schönes Violett, dunkles trübes Gelb oder Gelbgrün; dauerte die Reizung nur wenig länger, (bis sich das Papier gelb gefärbt hatte), so erschien Hellgelb, sofort oder bald mit Blau »meliert«, Blau, Rotgelb, sehr undeutliches dunkles Grün. In beiden Fällen zeigten sich also farbige Qualitäten, die meinen »drei Hauptfarben« sehr nahe stehen.

Die bisher geschilderten Nachbildbeobachtungen hat Fechner durch eine Reihe von Versuchen ergänzt, in denen er das nach den Methoden α — δ gereizte Auge reagierendem Licht verschiedener Art aussetzte; ferner hat er noch die Netzhaut in anderer Weise mit dem gemischten Lichte der Sonne gereizt (z. B. mit Weiß auf Schwarz im verbreiteten Tageslichte oder mit Schwarz auf Weiß) und die betreffenden Nachbilder bald wieder im dunkeln Gesichtsfelde beobachtet, bald auf reagierenden Flächen entwickelt. Von diesen zahlreichen Versuchen ergaben nur die folgenden beiden ein gutes Resultat:

1) Schwarz auf Weiß, intensiv beleuchtet, erzeugte im geschlossenen Auge an der Stelle, wo vorher die schwarze Scheibe lag, nacheinander die Farben: Dunkel, Rostgelb oder Rotgelb, Rotschwarz oder Braunrotschwarz, helleres Graublau, Gelb, doch nicht rein, sondern mit dem Blau der vorhergehenden Phase meliert. Das Gelb folgt dem Blau entweder unmittelbar oder nach einem Durchgange durch Grün. — Sieht man von den Helligkeitsverhältnissen ab, so sind das wieder Farben, wie ich sie ähnlich und in derselben Reihenfolge öfter gesehen habe, z. B. bei dem Kerzen- und dem Fensterversuche, bei denen ich auch »den Durchgang durch das Grün« beobachtet habe.

2) Das nach der Methode β erzeugte und auf reagierendem Weiß entwickelte Nachbild zeigte die auch von mir oft beobachtete charakteristische Farbenfolge Blau, »Rot«, Rostgelb.

In allen anderen Fällen ergeben sich nur Bruchstücke der oben

angegebenen Phasenreihe; die einzelnen Farben sind selten rein, sondern treten meist in bräunlichen oder violetten, manchmal auch grünlichen Nuancen auf. Reines, scharf abgegrenztes Grün hingegen wurde im Kern nur sehr selten festgestellt, und dann auch nur als »Hellgrün« (vielleicht wieder das »Lichtgrün«) oder Schwarzgrün, also in ungesättigten Modifikationen.

Weit weniger eingehend als die im Vorhergehenden registrierten Beobachtungen sind die Versuche, in denen Fechner das Auge den Einwirkungen farbigen Lichts aussetzte. Um mehr oder weniger homogene Strahlungen zu erhalten, betrachtete er durch farbige Gläser oder Flüssigkeiten, die in das bei der Methode α benutzte Fensterladenloch eingesetzt waren, ein gespiegeltes Sonnenbild, und zwar so lange, »als es die Augen ohne übermäßige Reizung ertragen konnten«. Selbst bei fast spektraler Reinheit der Farben erschien ihm doch die Sonne stets »wenig gefärbt, fast weiß oder gelb«, ebenso die erste Phase des betreffenden Nachbildes.

Im Sekundärstadium zeigten sich dann bei den einzelnen farbigen Reizungen nach einer momentanen Blendung folgende Farben:

1) Bei **homogenem Rot** (rotes Glas oder Lackmustinktur): Blendendes Gelb mit etwas minder hellem roten Umring; darum entwickelt sich ein schwarzgrüner oder blaugrüner Umring; das Rot und manchmal auch das Grün wird zentral; ein heller weißlich-rötlicher Schein verschlingt die Erscheinung.

2) Bei **Gelb** (1 Glas): Gelb, Grün, allmählich mehr Blaugrau mit rotschwarzem Umring.

2a) Bei etwas **reinerem Gelb** (mehrere Gläser): Gelb mit rotem Rande und dunkelblaugrünem Umringe (ähnlich wie bei 1).

3) Bei **Grün** (mehrere Gläser): Weiß, etwas grünlich, mit bläulichweißem Saume, Bläulichweiß mit schwarzrotem Umringe.

4) **Blau** (1 Glas, das nur Orange absorbiert): Hellblau mit schwarzrotem (bis violettem) Umringe, und gelbgrünem Randscheine, Schwarzrot mit gelbgrünem Randscheine, sehr undeutliches Blau, beim Blick auf eine weiße Wand lebhaftes Gelb.

4a) **Reineres Blau** (Kupferlösung): Blau mit grünem, darum rotem Umringe und gelbgrünlichweißem, andere Male mehr fleischfarbenem Randscheine; Grün und Rot werden zentral; Blau und Grün entwickeln sich manchmal wenig gesondert.

5) **Reines Violett** (ammoniakalische Kupferlösung und 1 violettes Glas): Schwachbläulich-Weiß mit ganz dunkelviolettem, bald schwarzrot werdendem Umringe und grünem Randscheine.

5a) Etwas weniger reines Violett (1 Glas): Weiß mit schwarz-rottem, darum mit blauem Umringe, trüb gelbgrünem Randscheine und weißlichbläulichem oder hell grünlich-weißlich überlaufenem Grunde. Der Grund »verschlingt« endlich die Erscheinung. Auf reagierendem Weiß erscheint jetzt ein intensives Gelb. —

Berücksichtigt man nur die Kernfarben der Nachbilder, so sind diese Resultate wesentlich unvollständiger als die von mir angegebenen. Und der Beobachter dieser Farben sagt ja auch selbst, daß »das Phänomen des Farbenabklingens sich um so mehr vereinfacht, je homogener die Farbe des primären Eindrucks ist« (50, S. 211). Nun hat aber Fechner als allgemein gültige Regel gefunden, daß die Farben der Umringe eines Stadiums in einer etwa erscheinenden nächsten Phase ins Zentrum wandern, er hat ferner festgestellt, daß durch Öffnen der Augen das Nachbild auf eine spätere Phase überspringt. Rechnet man auf Grund dieser Feststellungen die in den Umringen und auf reagierendem Weiß hervortretenden Qualitäten hinzu, so ergeben sich folgende Abklingefarben:

- 1) Für Rot und Gelb: Gelb, Rot, Blaugrün [Grün].
- 2) Für Grün: Grün, Blau, Rot.
- 3) Für Blau: Blau (Grün), Rot, Gelb.
- 4) Für Violett: Rot, Blau, Gelb.

Nach meinen Feststellungen beherrschen Blau, ein Purpurton und Gelb nach farbiger Reizung das Abklingen. Die oben genannten Farben weichen von diesen »drei Hauptfarben« nicht allzuweit ab. »Rot« hat Fechner stets gefunden, und das ist sicher identisch mit dem Purpurton, der in den von mir gesehenen Nachbildreihen meist die zweite, manchmal auch die erste Stelle einnahm.

In der »Physiologischen Optik« (2. Aufl., S. 501—532, besonders S. 521—530) stellt Helmholtz die eben mitgeteilten Versuche Fechners nebst einigen wenigen Befunden anderer Physiologen zusammen mit einer Reihe eigener Untersuchungen, die das gleiche Gebiet zum Gegenstande haben. Die von ihm gemachten Beobachtungen stimmen im wesentlichen mit denen Fechners überein. So findet er, ähnlich wie Fechner (sowie Seguin und Aubert) nach momentan dargebotenem Weiß »im ganz dunklen Felde«: Weiß, durch grünliches Blau schnell übergehend in schönes Indigoblau, helles klares Rosa-Violett, schmutziges Grau-Orange, sowie oft noch ein dunkles schmutziges Gelbgrün.

Wie der Verf. der »Physiol. Optik« mitteilt, sahen nach länger-dauernden und intensiven Weißreizen im dunklen Gesichtsfelde:

I. Seguin: Weiß, Grün, Blau, Gelb, Rot, Violett, Blau, Grün.

II. Brücke: Grün, Blau, Rot.

III. Helmholtz: 1) Weiß; 2) Hellblau mit grünem Saume, 3) Grün mit dunklem rotgelben und ev. einem weiteren noch dunkleren blaugrauen Saume; 4) Rot mit blaugrauem Saume auf hellerem weißlichen (grünlichen) Grunde. 5) Blau; hier verschwindet das Nachbild; auf reagierendem Weiß erscheint noch Grünblau; 6) auf reagierendem Weiß noch ein gelblicher oder bräunlicher Schein; nach Schluß der Augen wieder schwach Bläulich, auf Weiß ev. wieder Gelb.

Der unter III wiedergegebene Befund stimmt mit dem Fechners sowie mit meinem bis auf das »Grün« fast genau überein. Da Helmholtz keine weiteren Angaben über die Nuancierung dieser letzteren Farbe macht, vermag ich den Grund dieser Differenz nicht ausfindig zu machen, wie das bei Fechner möglich war. Das erste Grün Seguins (und Brückes?) ist wahrscheinlich eine nur ganz momentan auftretende Übergangsfarbe. Konnte doch selbst Fechner nur unter besonders günstigen Bedingungen die erste vor dem Hellblau ablaufende Phase deutlich sehen. Das Schlußgrün Seguins ist wohl das von Fechner und mir geschene sehr undeutliche Schwarzgrün der letzten Phase.

Nach momentaner Reizung durch gesättigte Farben gehen für Helmholtz und ähnlich für Aubert die im Sekundärstadium andauernden primären Farbentöne über:

1) Bei Grün: in Rosarot,

2) Bei grünlichem Blau: durch Blau und Violett in Rosarot,

3) Bei Blau: durch Violett in Rosarot, dann folgt Gelb,

4) Bei Gelb: durch grünliches Weiß in Violett,

5) Bei Rot: durch grünliches Weiß (?) in Violett (»statt des Rosarot mehr eine violette Farbe«), später in Graugrün, beides schnell schwindend. — Ziemlich unabhängig von der Qualität des Reizes erscheint also in allen Fällen die rosaviolette Phase des abklingenden momentanen Weiß, ganz ähnlich, wie stets das »Schwarzrot« nach längerdauernder, sowohl farbiger wie farbloser Reizung auftritt. Das spricht wieder für die Richtigkeit meiner Behauptung, daß dieses »Schwarzrot« zu den Purpurtönen gehört.

»Nach längerer oder stärkerer Einwirkung primären farbigen

Lichtes« fand Helmholtz, von geringen Differenzen abgesehen, die gleichen Farben wie Fechner, und zwar auch nach Reizung durch homogene prismatische Strahlen. So hat er z. B. nach prismatischem Rot, Gelb und Blau den »schwarzroten« Umring gesehen, den er übrigens bei Blau, trotz der Gleichsetzung mit Fechners »Schwarzrot«, purpurfarben nennt. Diese Versuche mit spektral homogenem Licht zeigen, daß es nicht etwa angängig ist, das durchgehende Auftreten der Abklingefarben des Weiß nach farbiger Reizung lediglich auf die mehr oder minder umfangreichen Beimengungen anderer Wellenlängen, die ein durch absorbierende Mittel gereinigtes Licht stets aufweist, abzuwälzen.

Beim Rückblick auf die in diesem Abschnitt zusammengestellten Befunde früherer Beobachter ergibt sich zwar nicht eine vollständige Übereinstimmung mit meinen Resultaten, jedoch sind, insbesondere, wenn man die Verschiedenheiten der Reizungsbedingungen berücksichtigt, die Abweichungen keine wesentlichen. Das gilt zunächst für farbloses Licht. Für die einzige wirkliche Differenz, das Auftreten einer »grünen« Phase, dürfte hier bei den anderen Untersuchern die gleiche Erklärung zureichend sein, wie ich sie für Fechners »Lichtgrün« versucht habe. Weiterhin weichen aber auch die nach Eindrücken mehr oder minder gesättigter Farben beobachteten Phasenfolgen nicht prinzipiell von den von mir gefundenen ab. Insbesondere stellen sich hier in allen Fällen farbige Qualitäten ein, die gleichweit von der Primär- und der Gegenfarbe abstehen. Und ich glaube nicht fehlzugehen, wenn ich für alle diese Versuche als die im Sekundärstadium vorherrschenden Farben die drei in meinen Beobachtungen prävalierenden: Blau, ein Purpurton und Gelb bezeichne. Diese Behauptung ist im Grunde genommen identisch mit der Ausdrucksweise, unter der Helmholtz den komplexen Tatbestand des Abklingens nach farbigen Eindrücken, insbesondere solchen momentaner Dauer, zusammenfaßt. Der Verf. der »Phys. Optik« schreibt: »Im positiven Nachbilde gefärbter Objekte nach momentanem Anblicke schwindet zuerst die vorherrschende Farbe, und das Nachbild wird damit dem eines weißen Objektes ähnlich«, — es zeigen sich also, füge ich hinzu, die Phasen des abklingenden, momentan dargebotenen Weiß: Blau, Rosaviolett und unreines Gelb — »wobei namentlich gewöhnlich die rosenrote Phase eines solchen hervortritt« (S. 527). »Bei den einzelnen Farben geschieht das Abklingen nach momentanem Anblicke in etwas verschiedener Weise, je nach ihrer Verwandtschaft mit den Farbentönen des abklingenden Weiß«, (S. 528) d. h. diese Abklingephase des Weiß

treten um so »reiner und kräftiger« hervor, je näher sie der Komplementärfarbe stehen, am schönsten natürlich, wenn eine von ihnen mit der Gegenfarbe zusammenfällt, da sich ja dann die gleichfarbige »positive« Phase des Weiss »mit dem durch die Ermüdung des Auges in dem inneren Lichtnebel entstehenden negativen und komplementären Bilde deckt« (S. 527); so erscheint z. B. beim Grün die rosaviolette, beim Blau nach der rosavioletten noch die gelbe Phase sehr deutlich und schön. — Ähnlich, wenn auch nicht so klar, liegt der Sachverhalt nach »längerer oder stärkerer Einwirkung primären farbigen Lichts«: So zeigt sich überall »der rote Saum, der auch bei den Nachbildern des Weiß eintritt, als wäre die homogene Farbe mit Weiß gemischt, dessen Abklingefarben sich merklich machen zu der Zeit, wo die positive Nachwirkung der Hauptfarbe mit der komplementären negativen sich im Gleichgewicht hält« (S. 530).

Daß diese Darstellung des Verf. der Phys. Optik, soweit es sich um Tatsächliches handelt, richtig ist, kann ich durchaus bestätigen; ja noch mehr: ich darf das in viel weitergehendem Maße, als es Helmholtz auf Grund der ihm bekannten Versuche vermochte. Denn in meinen Beobachtungen waren die in Frage stehenden drei Farben: Blau, Rosaviolett (bzw. Purpurviolett) und Gelb, und nur diese, in allen Fällen die charakteristischen Farben des Abklingens. Jedoch sind diese Farben nicht, wie Helmholtz meint, an das Stadium des Übergangs vom »positiv gleichfarbigen« zum »negativ komplementären« Bilde gebunden. War doch bei den Expositionszeiten, mit denen ich vorwiegend gearbeitet habe, das erste Sekundärbild sofort deutlich »negativ«, und trotzdem wurde von mir jene Farbendreiheit stets gesehen. Überhaupt scheint mir die Begriffskombination positiv gleichfarbig — negativ komplementär, von der der Verf. der Phys. Optik ausgeht, nicht durchweg geeignet zu sein, den Tatbestand des Abklingens zu decken. Tritt man diesem Sachverhalt unbefangen und ohne theoretische Voraussetzungen gegenüber, so ergibt sich, wenn man zunächst von den Helligkeitsverhältnissen der Nachbilder absieht, folgendes: Der Nachbildprozeß drängt stets von der in der ersten Phase erscheinenden Farbe (der Primärfarbe bei momentaner, der Gegenfarbe bei längerer Reizung) weg, nach den Farben des abklingenden Weiß hin und zwar oft, wenn die erste Phase nicht selbst in einer der »Hauptfarben« erscheint, recht schnell (so wurde z. B. beim Rot und Purpurviolett das erste komplementäre Blaugrün bzw. Gelbgrün sehr bald durch beständigeres Blau ersetzt). Der Phasenwechsel vollzieht sich dabei in allen meinen

Hauptversuchen mit farbigem Lichte und ebenso bei einem Teil der Beobachtungen von Fechner und Helmholtz nach einer bestimmten Regel: Die Abklingefarben wandern, indem sie bei den Hauptfarben Station machen, in ganz regelmäßiger Weise und in bestimmter Richtung auf dem Farbenkreise, und zwar zu Beginn des Sekundärstadiums vom Gelb weg, am Schluß wieder zum Gelb hin, welche Farbe sie in meinen Versuchen auch stets erreichen. So erscheint z. B. nach blauer Reizung das komplementäre Orange am Anfange oft nur in Spuren und beeilt sich, zum Purpurviolett zu gelangen, worauf es dann weiter beim Blau und endlich zuletzt wieder beim Gelb angelangt.

Bei dieser Wanderung im Farbenkreise treffen die Sekundärfarben meist in der zweiten Phase beim Purpurviolett ein. Da dieser Purpurton noch relativ lichtstark ist, wird man eine Beeinflussung der Nachbildfarbe durch ihn auch in allen jenen Fällen erwarten können, wo eine deutliche Phasentrennung im Sekundärstadium nicht hervortritt, so besonders nach schwächeren Reizen und auf reagierenden Flächen. Und diese Erwartung findet ihre volle Bestätigung. Schon seit langem hat die oft festgestellte Inkongruenz der Nachbildfarbe mit der Gegenfarbe zu mancherlei psychologisch-optischen Untersuchungen und Diskussionen Anlaß gegeben. A. Tschermak faßt die tatsächliche Seite der beobachteten Abweichungen in folgendem Satze zusammen (A. Tschermak: »Über Kontrast und Irradiation«; Ergebnisse der Physiologie, II, 2, 1903, S. 762): »Wir finden dabei die Regel, daß die Farbe des Simultankontrastes, noch mehr jene des Sukzessivkontrastes, . . . , im Sinne von Addition einer gewissen Quantität von Blaurot von der Gegenfarbe abweicht.« Nun, diese »gewisse Quantität von Blaurot« ist eben nichts weiter, als jenes von mir stets gesehene Purpurviolett der zweiten Phase. Ich glaube, diese Deutung macht jeden anderen Erklärungsversuch, wie z. B. die Annahme einer »natürlichen chromatischen Adaptation des Hellauges für Blaurot« (Hering; zitiert nach Tschermak a. a. O., S. 764) überflüssig.

III. Abschnitt: Theorie.

Bevor ich die Hauptergebnisse meiner Beobachtungen theoretisch zu deuten versuche, möchte ich kurz auf die allerdings nur geringe Ausbeute hinweisen, welche meine Versuche für die Theorie der Erscheinungen des Simultankontrastes geben.

Sämtliche Bilder, die während und nach der Reizung durch

den Ringsektor im Gesichtsfelde erschienen, zeigten deutlich eine räumliche Differenzierung in vier Gebiete, die ich im Vorhergehenden 1) Bildkern, 2) Bildrand, 3) Kontrastrahmen, 4) Hof genannt habe. Von diesen Bezirken fallen der zweite und dritte in das Kapitel des Randkontrastes, der Hof hingegen gehört zu jenen Phänomenen, die man mit Tschermack (a. a. O., S. 736) unter dem Namen Flächenkontrast zusammenfassen oder mit Wundt als diffusen Kontrast bezeichnen kann. Den Unterschied zwischen diesen beiden Kontrastarten erhebt Wundt dadurch zu einem prinzipiellen, daß er nur den Randkontrast als eine »rein physiologisch« fundierte Erscheinung ansieht (Gr. d. phys. Psych., 5. Aufl. 1902, II, S. 250). Nun scheint mir zwar in der Alternative »physiologisch oder psychologisch« nicht der richtige Grund für die begriffliche Gliederung der Kontrasterscheinungen zu liegen. Für die Sonderstellung des Randkontrastes sprechen jedoch auch meine Befunde.

Schon Fechner erwähnt, daß bei Betrachtung eines hellen Feldes auf dunklem Grunde der Rand hell bleibt, während ein dunkler Schleier »das Mittelfeld« überzieht; entsprechend blieb, wenn Dunkel auf Hell lag, der Rand dunkel. Ich habe beides zugleich in einem Bilde gesehen: Im Primärstadium steht der helle Bildrand neben dem dunklen Kontrastrahmen im Gesichtsfelde, mögen Farbe und Helligkeit im Kern und Hof sein, welche sie wollen. Auch dann, wenn — wie bei Blau und Grün — das Bild nach längerer Fixation im Grunde verschwimmt, werden meist beide Bezirke nicht vollständig verdeckt, sondern nur teilweise verschleiert. Während nun die Helligkeitsverteilung in der weiteren Umgebung, dem Hofe, im Verlaufe der Beobachtung, ja selbst beim Übergang vom Primär- zum Nachbildstadium, keine wesentliche Änderung erfährt, heben sich Rand und Rahmen erst nach einiger Zeit deutlich von den übrigen Bildteilen ab, ja nach Fechner »scheint die betreffende Helligkeit oder Dunkelheit des Randes . . . nur die Umkehrung eines vorangehenden entgegengesetzten Zustandes, wie er eben der Beschaffenheit der Zerstreuungskreise entspricht, zu sein« (Pogg. 50, S. 205). Haben sich aber beide Bezirke herausgearbeitet, so sind die dadurch geschaffenen Helligkeitsverhältnisse gleichwertig solchen, wie sie im gewöhnlichen Sehen durch entsprechende objektive Intensitätsunterschiede hervorgebracht werden; demgemäß wird, abgesehen vom Hofe, das ganze Bild im Nachbildstadium zu einem »negativen«.

Aus den angeführten Tatsachen scheint mir die selbständige Stellung des Randkontrastes gegenüber den Erscheinungen des Flächenkontrastes und der gleichsinnigen Induktion hervorzugehen.

Dieser Selbständigkeit der Randwirkungen wird auch eine Besonderheit der korrespondierenden physiologischen Prozesse entsprechen. Auf den spezifischen Charakter dieser Vorgänge weist vielleicht die Vermutung Wundts hin, »daß eine lokal beschränkte Reizung... der Retina... »einen Zufluß disponibler Stoffe aus den Elementen der Nachbarschaft zur unmittelbaren Folge hat, so daß ein Erregungsherd von einem Hof verminderter Erregbarkeit umgeben ist« (a. a. O., II, S. 285). Ob indessen diese Vorstellung ausreicht, alles zu erklären, insbesondere aber die trotz des verwaschenen Netzhautbildes vorhandenen scharfen Konturen begreiflich zu machen, möchte ich bezweifeln. Hier scheint mir der von Hering aufgestellte Begriff einer »Wechselwirkung der Sehfeldstellen« immer noch zu Recht zu bestehen.

Durch den zuletzt genannten Begriff und seine nähere physiologische Ausführung sucht die Heringsche Schule auch die Verdunklung des Kerns im Primärbilde verständlich zu machen. Tschermak faßt die betreffenden Erscheinungen unter dem Namen »Binnenkontrast« zusammen. Die Helligkeitsdifferenzen zwischen Rand und Kern kommen, wie er meint, dadurch zustande, »daß die einzelnen Teile eines Feldes, die Elementareindrücke, sich gegenseitig durch Kontrast in ihrer »eigenen« Helligkeit oder Farbe beeinträchtigen (Binnenkontrast)«, wobei »die randständigen infolge der beschränkten Anzahl von konkurrierenden Nachbarn die geringste Kontrastsubtraktion erfahren, also relativ die hellsten oder farbigsten sind, während die mittleren Elementareindrücke von allen Seiten her »gedrückt« werden, also relativ dunkler und unsatter sind« (a. a. O., S. 745). Ich glaube, diesen Erklärungsversuch durch einen wesentlich einfacheren ersetzen zu können, indem ich die Kernverdunklung auf den mit dem Beginne der Reizung zugleich einsetzenden Nachbildprozeß zurückführe. Für das — wenn auch nur momentan — gereizte Auge wirkt die weiter dargebotene Reizfläche genau so, als ob dieses Auge einer gleichbeschaffenen reagierenden Fläche ausgesetzt würde; es müssen sich also auf der ersteren genau so wie auf der letzteren die Nachbildwirkungen zeigen. Von solchen Wirkungen kann sich nur der Rand des Primärbildes durch den Zufluß von Erregungsmaterial aus der Umgebung freihalten. Die hellen Ränder sind also nicht, wie Tschermak meint, lediglich ein »Negativprodukt des Binnenkontrastes«; eher könnte man umgekehrt den dunklen Kern als ein »Negativprodukt« des Randkontrastes bezeichnen.

Von den eben besprochenen Randwirkungen sind, wie ich schon

oben bemerkte, die mit dem Namen »Hof« bezeichneten Erscheinungen der weiteren Umgebung zu unterscheiden. Von deutlich hervortretenden Kontrastphänomenen kann man allerdings in diesem Bezirke kaum reden. Jedoch erinnert manches von mir dort Gesehene an Feststellungen, die von anderen Beobachtern über den diffusen Kontrast gemacht worden sind. So ist das für den Hof charakteristische Überwiegen der purpurvioletten Töne wieder identisch mit der von Tschermak erwähnten »Addition einer gewissen Quantität Blaurot« zur Kontrastfarbe (a. a. O., S. 762). Die übrigen von mir im Hofe gesehenen Farben stehen nicht durchgängig in einer festen und bestimmten Beziehung zur Reizfarbe. Doch kämpfen hier meist der Primär- und der Gegenfarbe nahestehende Töne um die Vorherrschaft in der Empfindung. Ähnliche Kampfbilder werden in verschiedenen Untersuchungen erwähnt, die sich speziell mit den Erscheinungen des Flächenkontrastes beschäftigen. So hat Kuhnt, wie Tschermak (S. 749) mitgeteilt, »ein Wiederauftauchen der Kontrastfarbe für Momente« beobachtet, nachdem bereits das Stadium der gleichfarbigen Induktion eingetreten war. Fechner (Pogg. Ann. 50, S. 443) sah eine schwarze Scheibe auf farbigem Glase nach einiger Zeit in der Farbe des Glases; aber »öfters zeigt sich auch auf der schwarzen Scheibe die Farbe des Glases nach einiger Dauer der Betrachtung mit der komplementären auf eine unbestimmte Weise meliert«. Helmholtz (Phys. Optik, 2. Aufl., S. 548, 549) hat auf einem kleinen weißen Schmitzelchen vor lebhaft gefärbtem Grunde die »gleichnamige Farbe . . . oft fleckenweise verteilt zwischen Stellen, die die Komplementärfarbe zeigen«, gesehen. Vielleicht handelt es sich in allen diesen Fällen um einen ähnlichen Wettstreit zwischen Reizfarbe und Nachbildfarbe, wie ich ihn öfters im Kern des Primärbildes beobachtet habe. Als die Reizfarbe der Umgebung könnte man, wenn man diese Annahme für richtig hält, das in den trüben Medien des Auges zerstreute »falsche« Licht ansehen. Eine solche Zurückführung des Simultankontrastes auf den Sukzessivkontrast dürfte jedoch für eine Erklärung der gesamten Erscheinungen des Flächenkontrastes kaum zureichend sein.

Ich gehe jetzt zu den von anderen Untersuchern und mir beobachteten Erscheinungen des eigentlichen »Abklingens der Farben« über. Die theoretische Deutung dieser Phänomene knüpft, soweit sie überhaupt versucht worden ist, meist an die Fechner-Helmholtzsche Ermüdungstheorie an. Im Rahmen dieser Theorie spielen die beiden Begriffe »Positiv« und »Negativ« eine Rolle,

die ihnen, wie ich glaube, nicht zukommt. Werden diese Ausdrücke in dem gleichen Sinne verwendet, in dem sich die photographische Technik ihrer bedient, so sind sie wohl geeignet, bestimmten Helligkeitsverhältnissen zweier Bilder einen adäquaten Ausdruck zu verleihen. Und in diesem Sinne scheinen die Nachbilder nach längerer und nicht zu intensiver Reizung stets sofort negative zu sein, negativ jedoch, füge ich hinzu, nicht nur zu den objektiven Intensitätsverhältnissen der Reizfläche, sondern vor allem zu der subjektiven, im Primärbilde in die Erscheinung tretenden Helligkeitsverteilung. Die primäre und sekundäre Helligkeit von »Kern«, »Rand« und »Rahmen« bestätigen die Richtigkeit dieser Behauptung. — Nun wird aber von den Anhängern der Ermüdungstheorie diesem »Negativ« und »Positiv« meist noch stillschweigend eine andere Bedeutung untergelegt: Das negative Bild muß, da es ja im Dunkelauge durch »Ermüdung gegenüber dem Eigenlichte« zustandekommen soll, notwendig dunkler als der »Grund« sein. Ich habe in den meisten meiner Versuche die Helligkeit des »Grundes« verhältnismäßig gut einschätzen können, da die weitere Umgebung als ein die Bilder umschließender Hof fast stets deutliche Farbennuancen aufwies. Dieser Hof war aber in der Mehrzahl der »negativen« Bilder beträchtlich dunkler als der Kern, wie man besonders gut während jener Pausen, in denen die Hoffarbe das Bild verschleierte, sehen konnte; denn trotzdem diese Farbe dort, wo sie das mittlere Bild bedeckte, zeitweise immer noch aufgehellt erschien, wurde doch der Kern unter dieser Bedeckung oft deutlich verdunkelt. Im Sinne der Ermüdungstheorie würde ich also meine »negativen« Bilder in vielen Fällen als »positiv« bezeichnen müssen. Dieses für den Ermüdungstheoretiker unangenehmen Widerspruchs ist man freilich sofort überhoben, wenn man mit Helmholtz das, »was man . . . am Rande der Nachbilder von weißen Scheiben sieht, als die wahre Stärke des Eigenlichtes . . . betrachtet . . .«, nur besonders deutlich wahrnehmbar durch den Kontrast« (wobei ja nach Helmholtz' Ansicht die Steigerung durch den Kontrast nur auf einer Art falscher Beurteilung beruht). (Phys. Optik, 2. Aufl., S. 513). Also die Helligkeit des relativ scharf abgegrenzten Bezirks, den ich »Kontrastrahmen« genannt habe, würde die eigentliche Intensität des subjektiven Lichtnebels anzeigen. Damit wäre allerdings der Widerspruch aufgehoben; denn dieser Rahmen war in meinem Auge stets der bei weitem hellste Nachbildteil im ganzen Gesichtsfelde. Jedoch scheint mir diese Auffassung weder die natürliche, noch die richtige zu sein. Jenen Wirkungen, deren psychische Seite man unter dem Namen »Randkontrast« zu-

sammenfaßt, liegen sicher physiologische Umsetzungen ganz eigener Art zu Grunde, Prozesse, die von den wenig ausgeprägten körperlichen Vorgängen, deren undeutliche und unbestimmte psychische Seite wir »Eigenlicht« nennen, sehr weit verschieden sind. Denn wie Hering gezeigt hat, wird die scharfe Konturierung der Bilder des psychischen Sehfeldes überhaupt erst durch die in hellen Randwirkungen sich manifestierende »Wechselwirkung der Sehfeldstellen« erreicht. Die Helligkeit des »Augengrundes« hat demnach mit der des Kontraststrahlens nichts zu tun, im Nachbilde ebenso wenig wie im Primärbilde. Nach dem Vorhergehenden ist es also nicht angängig, die Begriffe »negativ« und »dunkler als der Augengrund« im Sinne der »Eigenlichtstheorie« zu identifizieren. Damit wird aber die übertriebene Bedeutung, die man den Begriffskombinationen »positiv gleichfarbig« und »negativ komplementäre« von seiten der oben genannten Theoretiker beizulegen pflegt, auf das richtige Maß zurückgeführt: Im Beginne des Abklingens mögen, wenn man »positiv« und »negativ« in dem gleichen Sinne wie die Photographie versteht, jene Begriffszusammenstellungen zu Recht bestehen, die eine nach momentaner und intensiver, die andere nach längerdauernder und mäßiger Reizung. In den späteren Phasen des Sekundärstadiums bedeutet hingegen ihre Anwendung oft keinen wesentlichen Fortschritt der Erkenntnis. Sofern dann überhaupt noch differente Helligkeiten im Gesichtsfelde stehen, scheint sich deren Intensität mehr nach den in den einzelnen Bezirken auftretenden Farbenqualitäten zu richten, wobei im allgemeinen Gelb als helle, Blau als dunkle Farbe auftritt, Purpurviolett aber eine Zwischenstellung einnimmt.

Eine weitere Tatsache, die nicht in den Rahmen der alten Ermüdungstheorie paßt, ist der oszillatorische Ablauf der Nachbildprozesse. Diese Oszillationen können auf zweierlei Art in die Erscheinung treten: 1) als ein bald regelmäßiges, bald unregelmäßiges Verschwinden und Wiederauftreten des ganzen Nachbildes und 2) als ein über mehr oder minder große Teile eines Bildes übergreifender Wettstreit zwischen den einzelnen Sekundärfarben. Ich glaube übrigens, daß die erste Form nur ein Sonderfall der zweiten ist, in dem als der eine Partner im Kampfe die Farbe der weiteren Umgebung, der Hof oder das »Eigenlicht«, als der andere die Farbkombination des eigentlichen Nachbildes in die Schranken tritt. In den von mir als Pausen bezeichneten Zwischenstadien behauptet die Umgebungsfarbe das Feld.

Daß die eben gekennzeichneten Unstetigkeiten der Sekundärprozesse mit der gewöhnlichen Ermüdungstheorie schwer in Ein-

klang zu bringen sind, ist leicht einzusehen. Das wird besonders deutlich, wenn man einen etwas abweichenden, aber von den bisher besprochenen nicht prinzipiell verschiedenen Fall heranzieht, den Wettstreit eines auf reagierendem Weiß entwickelten Sekundärbildes mit der Farbe des Grundes. (Als Reiz wurde ein 6 cm-Quadrat weißen Papiers, beleuchtet von einer Petroleumflamme, benutzt). Nach der Vorstellung der Anhänger jener Theorie hat der vorangehende Reiz gleichsam ein negatives Optogramm auf die Netzhaut aufgezeichnet. Auf der reagierenden Fläche tritt nun bei anhaltender Fixation ein Wechsel in der Erscheinung ein: Bald taucht das Nachbild auf, bald verschwindet es wieder und macht dem Weiß des Grundes Platz, oft verdrängt das Grund-Weiß auch nur einen mehr oder minder großen Teil des Sekundärbildes. Das scheint mir denn allerdings eine recht merkwürdige und sonderbar unbeständige »Ermüdung« zu sein. Für die Erscheinungen im dunklen Gesichtsfelde gilt, wie man zugeben wird, dieser letzte Satz in verstärktem Maße. So ist es denn verständlich, daß der Begründer und der Hauptverfechter jener Theorie, beide sich bemühen, diese Oszillationen als etwas Nebensächliches hinzustellen, und sie auf äußere Ursachen, wie »Wechsel der Beleuchtung und Bewegungen des Auges oder des Körpers« zurückzuführen versuchen (Helmholtz a. a. O., S. 510). Nun kann ich zwar vorerst nicht recht einsehen, inwiefern diese Zurückführung irgend einen Ausweg aus dem oben gekennzeichneten Dilemma bietet. Aber ganz abgesehen von der Beziehung zu irgendeiner Theorie liegt doch der Sachverhalt, wie folgt: Fechner und Helmholtz haben beide ein Verschwinden und Wiederauftauchen der Nachbilder, wie auch ein Rückwärtsschreiten der Phasen, einen Kampf der Farben gesehen.⁵⁷ Fechner sagt ausdrücklich, daß er das erstere in gewissen Fällen »auch bei ganz ruhig gehaltenem Auge« bemerkt habe (Pogg. Ann. 44, S. 256); bei Helmholtz »führten nachweisbar kaum wahrnehmbare äußere Einflüsse die Verwandlung des Bildes herbei« (S. 535). Fechner hält es ferner für »etwas schwer Erklärliches, daß die sanften unwillkürlichen Drehungen des Auges ein Verschwinden der Blendungsbilder nach sich ziehen«; »denn durch gewaltsame willkürliche Bewegungen«... hat er... »Blendungsbilder keineswegs so zum Verschwinden zu bringen (ja kaum zu schwächen) vermocht als die schwächeren Nachbilder«... Daß aber, wie Helmholtz behauptet, der oszillatorische Wechsel der Bilder lediglich im Übergangsstadium vom positiven zum negativen Bilde eintritt, muß ich bestreiten; ich habe ihn beobachtet, ganz unabhängig von den Helligkeitsverhält-

nissen in allen Phasen, bei meinen Hauptversuchen, in denen das erste Sekundärbild stets sofort ein deutlich »negatives« war, ferner auch nach Reizung durch verschiedenartige »weiße« Lichter, in besonders charakteristischer Form aber in jenem »Sonnenversuche«: Hier war während des ganzen Nachbildstadiums das Rückwärtsschreiten der Phasen zu sehen und zwar vollzog sich der Wechsel in oft nur sekundenlangen Perioden; dabei konnte natürlich von einer Verursachung durch äußere nebensächliche Einflüsse schlechterdings nicht die Rede sein, sondern die Oszillationen bildeten einen immanenten und wesentlichen, das Abklingen charakterisierenden Bestandteil der Nachbildprozesse. Und ähnlich verhält es sich sicher auch bei vielen anderen sekundären Bilderfolgen. Mögen immerhin äußere Einwirkungen zuweilen dieses Oszillieren hervorrufen oder wenigstens begünstigen, in vielen, vielleicht in den meisten Fällen sind die Augenbewegungen nicht als Gründe, sondern vielmehr als Folgeerscheinungen dieses Bilderwechsels anzusehen. Unter diesem Gesichtspunkte wird auch eine hierher gehörige Bemerkung von Helmholtz (S. 510) verständlich: »Ich finde übrigens, daß, wenn man bei möglichst unverrückt gehaltenem Auge dergleichen Bilder aufmerksam festzuhalten versucht, das Gefühl der Anstrengung grade dann am größten ist, wenn die Bilder so dahinschwinden. Dann folgt nach einiger Zeit ein Nachlaß dieser Anstrengung, wobei die Bilder wiederkommen«. Das Verschwinden der Bilder, wenn es z. B. von einer Ecke aus geschieht, löst eine Bewegungstendenz des Auges aus. Zentrale Prozesse, auf psychischer Seite Willensvorgänge, die dieser Tendenz entgegen wirken, sind mit einem ausgeprägten Gefühl der Anstrengung verbunden, das erst mit dem Aufhören jenes Bewegungsantriebes, also mit dem Wiedererscheinen der Bilder, nachläßt.

Das eben besprochene Oszillieren kennzeichnet die Nachbilderscheinungen als Vorgänge, die dem Eigenlichte, bzw. dem reagierenden Lichte gegenüber eine durchaus selbständige Stellung einnehmen. Diese Selbständigkeit der Sekundärprozesse hat zuerst G. Martius nachdrücklich hervorgehoben und zum Ausgangspunkte einer Theorie genommen, die im ausgesprochenen Gegensatze zur Ermüdungstheorie steht (G. Martius, Beiträge zur Psychologie und Philosophie, I. Bd. 1905). Die neue theoretische Anschauung sieht in den »negativen« Nachbildern »selbständige, auf selbständigen physiologischen Prozessen . . . beruhende psychische Erscheinungen« (S. 87), die ihre Entstehung nicht etwa erst der Einwirkung eines reagierenden Reizes, bzw. des Eigenlichtes verdanken, sondern die »sich

während des induzierenden Reizes (während der Fixation) entwickeln und nun als Nachempfindungen eine Zeit lang weiterbestehen« (S. 40). Diese Nachbilder lassen die normale Sehfähigkeit des Auges ganz ungestört, sie »bestehen danach als selbständige Empfindungen neben den fortgehenden und sich ändernden direkten Wahrnehmungen« (S. 88). Für die positiven Nachbilder gilt das gleiche, nur sollen sich diese nicht wie die negativen schon im Primärstadium, sondern erst nach Abschluß der Primärwirkung entwickeln (S. 362).

Die Hauptstütze für seine Theorie findet Martius in der Tatsache, daß die negativen Nachbilder zu ihrer Entwicklung auf einer reagierenden Fläche stets eine gewisse, wenn auch kurze Zeit beanspruchen. Während dieser Latenzzeit wird die reagierende Fläche auf dem durch die vorangehende Reizung beeinflussten Retinabezirk ebenso gesehen, wie in der Umgebung, ja es lassen sich unterdessen mit der »ermüdeten« Netzhautstelle sogar Vergleichshelligkeiten zu der durch den Nachbildprozeß reduzierten subjektiven Intensität des Primärlichtes einstellen.

Gegen die Aufstellung dieser Beweisgründe polemisiert W. Wirth (der Fechner-Helmholtzsche Satz über negative Nachbilder und seine Analogien; Wundts Phil. Stud., XVIII. Bd., 4. Heft), der nach wie vor im Sinne der Ermüdungstheorie der Meinung ist, daß »das Nachbild auch psychologisch eine während der ganzen Nachwirkung kontinuierlich anhaltende Modifikation der Gesichtsempfindungen an der betreffenden Sehfeldstelle ausmacht, die allerdings bei ungünstigen Beobachtungsbedingungen unerkannt bleiben muß« (S. 678). Diese ungünstigen Beobachtungsbedingungen sollen nun »Schwierigkeiten der Analyse« solcher »subjektiver Gesichtserrscheinungen« nach sich ziehen, d. h. also, die »Apperzeption« muß die ganze Last des eventuellen Ausbleibens der Nachbilderscheinung auf sich nehmen, oder mit anderen Worten: die so oft genannten und noch öfter bekämpften Helmholtzschen »Urteilstäuschungen« erscheinen wieder auf dem Plane. Nun ist es an sich schon mißlich, der Beurteilung der hier in Betracht kommenden relativ einfachen Empfindungskomplexe regelmäßig wiederkehrende Fehler unterzuschreiben. Demnach sind die Einwände Wirths wenig geeignet, die Beweiskraft der von Martius angeführten Tatsachen herabzumindern. Vollends unzureichend erweisen sich aber diese Ausstellungen, wenn man auf die Beobachtungen, die dieser Arbeit zugrunde liegen, zurückblickt. Wie soll man sich z. B. das schon oben (S. 223) erwähnte Oszillieren eines auf reagierendem Weiß entwickelten Helligkeitsnachbildes, den Kampf

zwischen Nachbild- und Grundfarbe erklären? Das Sekundärbild schwindet dabei nicht immer in seiner ganzen Ausdehnung; manchmal bleibt z. B. ein mehr oder minder großer Teil des dunkleren Nachbildrandes stehen, während die Mitte dem Grunde weicht; von dem übriggebliebenen Randteile aus ergänzt sich dann langsam wieder das ganze Bild. Das wäre denn doch eine merkwürdige Urteilschwankung, die solchen Bilderwechsel zustande bringen könnte. Die Vorgänge im dunklen Gesichtsfelde aber können in solchen Unsicherheiten der Apperzeption erst recht keine genügende Stütze finden. An die Stelle des reagierenden Lichtes tritt hier die Farbe des Augengrundes, des in der Umgebung oft zu einem »Hofe« modifizierten »Eigenlichtes«. Wenn die gewöhnliche Auffassung meint, daß die Nachbilder im dunklen Auge überhaupt erst durch eine Ermüdung gegenüber diesem Eigenlichte zustande kommen, so irrt sie darin; denn der Wettstreit mit der Farbe des Augengrundes, der in noch viel größerem Umfange als auf reagierenden Flächen zu sehen ist, charakterisiert diese Nachbildvorgänge als den Eigenlichterscheinungen gegenüber durchaus selbständige und ihnen ebenbürtige Prozesse. Noch deutlicher aber tritt diese Selbständigkeit hervor, wenn mehrere Sekundärfarben miteinander um den Vorrang in der Empfindung kämpfen. Denn es ist schlechterdings garnicht einzusehen, wie einer »Ermüdung«, d. h. doch einer Reduktion gewisser physiologischer Prozesse ein solch lebhaftes Wechselspiel der Farben korrespondieren sollte.

Der Wettstreit zwischen Nachbild und neu einwirkendem Licht wird besonders nach schwächeren Primäreindrücken leicht durch eine »Verschmelzung« beider Prozesse abgelöst. Der »Fechner-Helmholtzsche Satz über negative Nachbilder« drückt einfach die Gesetzlichkeit dieser Verschmelzung aus, stellt jedoch nicht die Selbständigkeit der Nachbilder in Frage, wie Wirth (S. 376) anzunehmen scheint. Ebenso ist es, trotz der Einwände Wirths (S. 379), verständlich, daß eine Vereinigung beider Prozesse nur in der Ruhelage des Auges gut von statten geht, daß ferner dann der Nachbildvorgang als der ältere sich im Übergewichte befindet, daß hingegen auf der anderen Seite bei Störungen, wie sie durch Augenbewegungen bedingt sind, der ständig erneuerte Zufluß von Erregungsenergie, welcher von der reagierenden Fläche herbeiströmt, den Ausschlag gibt.

Ich habe bisher hauptsächlich von »negativen« Nachbildern gesprochen. Doch glaube ich, daß der Unterschied zwischen »positiv« und »negativ« hier nur von untergeordneter Bedeutung ist: Macht

doch der Wettstreit der »positiven« Nachbilder (z. B. in dem Sonnenversuche) genau denselben Eindruck, wie der Kampf der Bilder in in den Hauptversuchen, bei denen das erste Bild stets ausgesprochen negativ war. Ferner können sich, wie Fechner angibt, nach sehr intensiver Reizung die »positiven« Nachbilderscheinungen ebenso wie die »negativen« auf reagierendem Licht und sogar schon auf der primären Reizfläche (s. diese Arbeit S. 208) entwickeln. Ich selbst habe öfters gesehen, wie das durch eine mittelhelle Petroleumflamme erzeugte grünlichgelbe und purpurumrandete Sekundärbild auf reagierendem Weiß eventuell in genau derselben (»positiven«) Helligkeit und Farbe erschien wie im dunklen Auge. —

Die eben erwähnten Besonderheiten der Sekundärserscheinungen sind mit der Ermüdungstheorie nicht vereinbar, denn sie kennzeichnen die Nachbildprozesse als selbständige und vom reagierenden Licht unabhängige Vorgänge. Eine weitere Frage ist jetzt, zu welchen neuen theoretischen Konsequenzen diese Selbständigkeit führt. Ein Versuch, diese Frage zu beantworten, kann nur im Rahmen einer allgemeinen psychologisch-optischen Theorie unternommen werden. Ich will deswegen zunächst feststellen, in welche von den bekannten Theorien sich die Farbenercheinungen des Abklingens am besten einordnen lassen.

Ich stelle die Hauptegebnisse meiner Versuche nochmals in folgenden beiden Sätzen zusammen:

1) Die Sekundärfarben sind nicht durch Übergänge stetig mit einander verbunden, sondern erscheinen relativ scharf von einander getrennt im Gesichtsfelde.

2) Die in diesen diskreten Stufen des Abklingens auftretenden Qualitäten sind für alle Reizfarben annähernd die gleichen drei und zwar Blau, Purpur und Gelb.

Im Vorhergehenden habe ich nachgewiesen, daß die Nachbilder auf selbständigen physiologischen Prozessen beruhen. Diese Vorgänge sind schon im Primärstadium vorhanden, werden jedoch hier durch den Einfluß des Reizlichtes zurückgedrängt, um sich erst nach Verdunkelung des Gesichtsfeldes frei entfalten zu können. Die während der Einwirkung des primären Lichtes im wesentlichen zwangsläufigen Prozesse werden sich jetzt, frei vom Reizdruck, zu mehr oder minder freiläufigen umgestalten. Demgemäß können sich im Sekundärstadium charakteristische Eigentümlichkeiten der Sehvorgänge, wie etwa eine Abhängigkeit derselben von einer beschränkten Anzahl von Variablen, leichter bemerkbar machen als unter dem Einflusse objektiven Lichts. Ist diese Auffassung richtig,

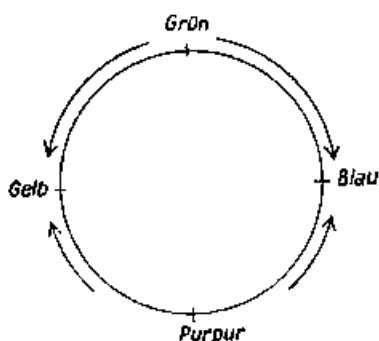
dann sprechen die in den Sätzen 1 und 2 zusammengefaßten Resultate für eine Komponententheorie. Der unstetige Ablauf der Nachbildprozesse, die starke Annäherung der Abklingfarben an drei ganz bestimmte Qualitäten, der Wettstreit der Sekundärfarben, der Eindruck der Verschleierung einer Farbe durch eine andere, wie er vor und bei dem Auftreten von Mischfarben gelegentlich von mir gesehen wurde, alle diese Tatsachen drängen zu der Annahme, daß in einer bestimmten »Zone« der »Sehsubstanz« die entsprechenden physiologischen Vorgänge dreifach gegliedert sind. Die den Zwischenfarben korrespondierenden Mischprozesse kann man sich leicht in eine andere Zone verlegt denken und damit dem Einwande Wundts begegnen, daß jede Komponententheorie einen Verstoß gegen die Forderung eines psychophysischen Parallelismus der Elementarprozesse involviere (Phys. Psych., 5. Aufl., II, S. 234).

Welches sind nun die der isolierten Funktion jeder der drei Komponenten entsprechenden Qualitäten? Abweichend von Helmholtz muß ich als solche »Grundfarben« die von mir gefundenen drei Hauptqualitäten Blau, Purpur und Gelb ansehen. Vor allem aber bin ich gezwungen, die eine der von Young-Helmholtz aus den Mischungsgesetzen erschlossenen Komponenten, das Grün, aus der Reihe der Grundfarben auszuschließen. Denn im weiteren Verlaufe des Abklingens habe ich bei keinem meiner Versuche ein deutliches, scharf abgegrenztes Grün gesehen. Zeigte sich diese Farbe aber, wie nach purpurvioletter und roter Reizung, zu Beginn des Sekundärstadiums, so machte sie stets schnell einem relativ reinen und beständigen Blau Platz. — Hier könnte man mir vielleicht einwenden, daß doch andere Beobachter Grün als Abklingfarbe gesehen hätten, daß mithin meine Versuche in ihrer subjektiven Beschränktheit nicht beweisend seien. Dagegen erwidere ich: Daß Grün als Abklingfarbe überhaupt gesehen worden ist, bezweifle ich selbstverständlich nicht. Es ist jedoch fraglich, welche Nuance mit diesem Worte jeweils gemeint ist. In den Fällen, wo der betreffende Untersucher die eventuell auftretenden Modifikationen genauer bespricht, wie z. B. Fechner sein »Lichtgrün«, scheint mir die Reinheit und durchgehende Konstanz des »Grün« durchaus fraglich zu sein. Ferner ist, wie schon das Spektrum zeigt, Gelb eine Qualität, die bereits durch geringe Beimischungen anderer Erregungen leicht zu verdecken oder besser zu modifizieren ist. Solche Mischungen können aber im Stadium des Abklingens sehr leicht zu stande kommen. Denn, wie gerade meine Versuche beweisen, sind die den drei Abklingfarben entsprechenden Einzelerregungen stets alle zugleich vorhanden und

kämpfen miteinander um den Vorrang in der Empfindung, wobei jeweils die eine oder die andere Farbe sich mehr oder minder im Übergewichte befindet. Daß dabei auch Mischerregungen resultieren können, ist selbstverständlich. Ebenso selbstverständlich ist aber, daß grade Gelb mit seiner geringen Sättigungskraft sehr leicht in solchen Mischungen aufgehen kann. Wenn ich trotzdem in allen meinen Versuchen ein zwar oft nicht besonders gesättigtes, aber doch in seiner Qualität gut bestimmtes Gelb gesehen habe, ein solches Grün aber nicht, so sind diese meine Beobachtungen ausschlaggebend für eine Vorzugsstellung des Gelb gegenüber dem Grün. Denn es ist vom Standpunkte der Young-Helmholtzschen Theorie aus gar nicht einzusehen, wie grade in meinem Auge, welches Grün samt seinen Abstufungen sonst ausgezeichnet sieht, das markante Grün stets und ständig ersetzt sein sollte durch eine Farbe, die jene Theorie als Mischfarbe bezeichnet. Ich muß also dabei bleiben, daß meine Beobachtungen gegen die Komponentenfarbe Grün sprechen. Immerhin könnte man mich voreilig heißen, würde ich lediglich aus meinen Versuchen so weitgehende theoretische Schlüsse ziehen, wenn nicht eine Reihe anderer Tatsachen bekannt wäre, die in gleicher Weise für eine Ausschließung des Grün als Grundfarbe sprechen: In der psychologischen Optik weiß man seit langem, daß die Qualität, welche ein objektiv genau definiertes Reizlicht mittlerer Stärke im gewöhnlichen Sehen hervorruft, unter besonderen Umständen eine beträchtliche Veränderung erleidet. Vom Standpunkte einer Komponententheorie wird man wieder erwarten können, dass solche qualitative Verschiebungen eine ganz bestimmte Richtung einschlagen und zwar von den Zwischenfarben weg und zu den Hauptfarben, den psychischen Korrelaten der Fixpunkte der Erregung, hin. Im Folgenden werde ich nun nachweisen, daß auch von diesem Gesichtspunkte aus das Grün nicht den Anspruch auf die Stellung einer Komponente hat, da es sich bei allen solchen Verfärbungen durch seine Unbeständigkeit geradezu hervortut, während hingegen dem Gelb und Blau sehr nahestehende Farbentöne sich durch eine weitgehende Konstanz auszeichnen.

1) Änderung der Farben bei maximalen Intensitäten: In allen größeren Lehrbüchern der psychologischen Optik sind Notizen über die Verschiebungen der Farben bei Steigerung der objektiven Intensität enthalten. Nach Helmholtz (Phys. Optik, 2. Aufl., S. 466, ähnlich auch S. 284—285) »geht bei steigender Lichtstärke am schnellsten Grün in Gelb, Violett in Weißblau über. Höhere Helligkeiten sind nötig, um spektrales Rot in Gelb und Blau in Weiß

überzuführen. Es gibt nur eine Farbe, nämlich das Gelblichweiß, welche bei allen Intensitäten merklich unverändert bleibt.



Über die Farbenänderung im Grün macht v. Kries (Nagels Handbuch der Physiologie, 3. Bd., 1905, S. 133) genauere Angaben. Danach gehen grüne Töne »bis etwa zur Wellenlänge $517 \mu\mu$ « in Gelb über; »sein Grün noch etwas kleinerer Wellenlänge geht nach Hering ohne Änderung des Farbtones in Weiß über, während die noch kurzwelligeren Lichter, ebenso wie Violett, sich dem Blau annähern«.

2) Änderung der Farben bei minimalen Intensitäten: Über qualitative Änderungen bei allmählicher Verminderung der Lichtstärke teilt Helmholtz Folgendes mit: Violett entfernt sich desto mehr vom Blau und nähert sich dem Purpur, je lichtschwächer es wird (S. 284). Im Spektrum schwinden bei allmählicher Abnahme der Lichtstärke zuerst die »Zwischenfarben Gelb und Grünblau« und der von ihnen eingenommene Raum teilt sich zwischen »Rot, Grün und Violettblau« (S. 471). Daraus hatten schon früher v. Bezold und Brücke den Schluß gezogen, daß diese drei Farben den »physiologischen Grundfarben« entsprechen müßten (S. 469). Die genannten Autoren haben jedoch nicht berücksichtigt, daß bei weiterer Abnahme der Lichtstärke jene Farben in Rotbraun, Olivenbraun und Blaugrau umschlagen (S. 471). Nun ist aber nach Hering jedes Braun die »durch Schwärzung« hervorgerufene Modifikation einer »gelbhaltigen« Farbe (E. Hering, Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn, 1905, S. 55). Olivenbraun speziell entsteht durch Verdunklung »grünlich gelber Farbentöne«. Bei wirklich extrem geringen Intensitäten tritt also wieder eine Verschiebung nach Gelb und Blau hin ein, genau so, wie bei außerordentlich hohen Lichtstärken. Inwieweit übrigens bei diesen Versuchen Kontrastercheinungen die Qualität der Spektralfarben beeinflussen, bleibt dahingestellt, da Helmholtz nicht angibt, ob dabei stets nur das ganze Spektrum oder eventuell auch einzelne herausgeblendete Teile desselben im Gesichtsfelde standen.

3) Änderungen der Farben mit dem Abstände vom Netzhautzentrum: Schon seit langem ist bekannt, daß auf den exzentrisch gelegenen Retinabezirken gewisse Farben nicht lediglich ab-

blassen, sondern zugleich eine Änderung ihres Farbentons erleiden. Die Helmholtzsche und ähnlich die Hering'sche Schule pflegen diesen Sachverhalt in folgender Weise zusammenfassend darzustellen: Läßt man ein Feld von bestimmter Größe allmählich vom Zentrum nach der Peripherie über die Netzhaut wandern, so kommt man nach dem Verlassen des vollfarbigen Bezirks zuerst auf eine »rotgrünblinde« und weiter außen auf eine vollständig farbenblinde Zone. In dem rotgrünblinden Gebiete werden nur Gelb und Blau in einer von der gewöhnlichen nicht sehr verschiedenen Qualität gesehen, Rot, Orange und Grün hingegen gehen in Gelb, Blaugrün und Violett (nach Hess auch Purpur[?]) gehen in Blau über. Die Punkte der Farbenskala, an denen der Übergang in Gelb in einen solchen in Blau umschlägt, gibt Heß genauer an. Nach ihm verwandeln sich in der rotgrünblinden Zone zwei Farbentöne direkt in Weißgrau, nämlich ein spektrales »Grün« von $495 \mu\mu$, sein »invariables Grün« und ein »aus spektralem Rot und einem mäßigen Zusatz von Blau« zusammengesetztes Rot, sein »invariables Rot« (nach v. Kries, a. a. O., S. 198).

Etwas abweichende Resultate hat Hellpach im Wundtschen Laboratorium und zwar mit dunkeladaptierten Auge gefunden (W. Hellpach: Die Farbenwahrnehmung im indirekten Sehen; Phil. Studien, Bd. 15, 1900). Als konstante langwellige Farbe stellte er nicht Gelb, sondern »Orange« fest; den von Heß als »invariables Rot« bezeichneten Farbenton nennt er »Purpur«. In »Orange« gehen Rot und Gelb über, Gelb sogar schon auf der parazentralen Retina. Merkwürdigerweise verwandelt sich jedoch Grün auf der Netzhautperipherie in Hellgelb, also in einen Farbenton, der durch eine ihm adäquate Reizung an den gleichen Retinastellen garnicht erzeugt werden kann. Gerade diese letztere Tatsache weist aber, wie ich glaube, darauf hin, daß die Abweichungen von dem Befunde anderer Untersucher in der Hauptsache eine Folge des Adaptationszustandes sind. Beides, das Hellgelb und das »Orange«, sind vielleicht doch nur Abänderungen ein und desselben »Gelb«, das Hellgelb eine durch die Verschiebung des Helligkeitsmaximums nach dem Grün verursachte Modifikation, das »Orange« hingegen eine dunklere bräunliche Nuance des Gelb. Nennt doch auch Helmholtz den Ton, in welchen gesättigtes Rot in der Gelb-Blau-Zone übergeht, »fast schwarz oder dunkelgelbbraun« (Phys. Optik, 2. Aufl., S. 373). Auf die Dunkeladaptation dürfte auch die geringe Ausdehnung des Blaubezirks zurückzuführen sein, da ja gerade das Blau im Dunkelauge außerordentlich an Sättigung verliert. Mit dieser Vermutung

im Einklang steht, daß im helladaptierten Auge der Blau- (und ebenso der Gelb)-Bezirk mehr oder weniger weit hinausrücken, daß ferner die Grün-Zone jetzt innerhalb der Rot-Zone zu liegen kommt (Wundt, Gr. der Phys. Psych., 5. Aufl. 1902, 2. Bd., S. 180 und 181). Wenn aber der Grad der Adaptation so weitgehende Unterschiede bedingt, dann kann es auch nicht erlaubt sein, aus der Lage der bei einem bestimmten Adaptationszustande festgestellten »Isochromen« (d. h. der Grenzlinien der gleichfarbigen Zonen) Schlüsse gegen eine bestimmte Theorie zu ziehen, wie das Hellpach tut. Berücksichtigt man aber beides, die bei Hell- und bei Dunkeladaptation im Wundtschen Laboratorium gefundenen Resultate, identifiziert man ferner auf Grund der oben angestellten Überlegungen das »Orange« Hellpachs mit dem Gelb der anderen Untersucher, so verlieren diese Ergebnisse wenigstens zum Teil ihre Sonderstellung: Im Hellauge rückt die Blau-Isochrome der »Orange« (Gelb)-Isochrome wesentlich näher; ebenso kann aber der Rotbezirk sich von dem Grünbezirk nicht beträchtlich unterscheiden, da im Hellauge die Grün-Isochrome innerhalb, im Dunkelauge hingegen außerhalb der Rot-Isochrome verläuft. Dann haben wir aber wieder eine innere Grün-Rot- und eine äußere Gelb-Blau-Grenze, wie sie auch sonst von anderen Beobachtern stets festgestellt worden sind. Und diese Feststellungen insgesamt charakterisieren aufs Neue die Helmholtzschen Komponenten Grün, Rot und Violett als Zwischenfarben, Gelb und Blau hingegen als Hauptqualitäten, die ganz den Anforderungen entsprechen, welche man an etwa vorhandene Komponenten der Farbenprozesse stellen müßte.

4) Änderung der Farben durch Verkleinerung der Felder: (a. a. O., v. Kries, S. 197, Helmholtz, S. 374). Die Lage der unter 3. erwähnten Isochromen ist keine absolut bestimmte, sondern hängt von der Intensität und besonders von der Flächenausdehnung des Reizes ab. Nach Landolt werden bei genügender Intensität und Feldgröße selbst auf der äußersten Netzhautperipherie alle Farben gesehen. Mit der Verkleinerung des Reizfeldes rücken jedoch die farbenblinde Zone und ebenso die Grenzen der vollfarbigen Bezirke, die Isochromen, immer weiter nach dem Zentrum zu. Denkt man sich also ein relativ großes Feld, das eine in gewisser Entfernung vom Zentrum gelegene Netzhautstelle reizt, immer kleiner und kleiner werdend, so müssen die infolge der Verkleinerung auf diesem Felde erscheinenden qualitativen Änderungen genau denjenigen Farbenverschiebungen entsprechen, die ein sonst gleicher, aber konstant mittelgroßer Reiz bei der Wanderung vom Zentrum nach der Peri-

pherie erleidet. Es werden sich also wieder Gelb und Blau als Hauptfarben, die übrigen als Neben- oder Zwischenfarben zeigen.

5) Änderungen der Farben bei längerer Fixation: Die von mir im Primärbilde gesehenen Farbenverschiebungen bewegten sich im großen und ganzen nach den »drei Hauptfarben« hin. Diese Veränderungen sind jedoch nicht eindeutig genug, um eine Vorzugstellung gewisser Qualitäten daraus abzuleiten. Bei Anwendung homogenen Lichtes scheint sich jedoch eine solche Sonderstellung und zwar wieder für Gelb und Blau zu ergeben. v. Kries bringt eine Notiz über derartige von Voeste angestellte Versuche (a. a. O., S. 214). Daraus ergibt sich (v. Kries fügt hinzu: »in sehr guter Übereinstimmung mit meinen eigenen älteren Befunden«), »daß ein Gelb von der Wellenlänge 560 $\mu\mu$, ein Grün (500 $\mu\mu$) und ein Blau (460 $\mu\mu$) keine Veränderung des Farbtones erleiden; die anderen Lichter verändern sich und zwar in der Richtung zu jenem Gelb und Blau hin, dagegen von dem Grün fort.« Diese Verfärbungen entsprechen aber wieder ganz den unter 1—4 genannten.

6) Partielle Farbenblindheit: v. Kries teilt die »Dichromaten« ein in »Protanopen« und »Deutanopen« und legt dieser Unterscheidung großen Wert bei: Nun sehen aber beide Gruppen das gleiche objektive Spektrallicht als ein farbloses Grau-Weiß, nämlich ein »Blaugrün« von etwa 495 $\mu\mu$. Diese Übereinstimmung gewinnt eine für die Theorie ausschlaggebende Bedeutung dadurch, daß der »neutrale Punkt« der Dichromaten wenigstens annähernd identisch ist mit jener Stelle des Spektrums, an der gegebenenfalls im normalen Auge die Verfärbung in Gelb in eine solche in Blau umschlägt: So liegt das von Heß gefundene »invariable Grün« bei 495 $\mu\mu$, Voestes konstantes »Grün« bei 500 $\mu\mu$, und nach Hering geht bei Steigerung der Intensität ein Grün von etwas kleinerer Wellenlänge als 517 $\mu\mu$ direkt in Weiß über. Diese Beziehung weist unbedingt auf einen Zusammenhang der abnormen partiellen Farbenblindheit mit den unter 1—5 charakterisierten Umfärbungen hin. Jene Ausfallerscheinungen im normalen Auge lassen nun als die konstantesten Farben Gelb und Blau hervortreten. Da die Farbenblinden die von ihnen wahrgenommenen Qualitäten meist ebenfalls mit den Worten Gelb und Blau benennen, da ferner das Zutreffende dieser Benennung durch die allerdings seltenen Fälle einängiger partieller Farbenblindheit bestätigt zu werden scheint, wird man auf Grund des oben festgestellten Zusammenhanges wenigstens die Mehrzahl der Dichromaten mit Recht als Gelb-Blau-Seher bezeichnen können. Umgekehrt liegt aber in der

Gliederung des dichromatischen Sehens nach diesen zwei Qualitäten eine weitere Stütze für die Behauptung, daß auch im normalen Sehorgan Gelb und Blau den übrigen Farben gegenüber eine bevorzugte Stellung einnehmen. —

Die in den Abschnitten 1—6 aufgezählten Farbenverschiebungen lassen zwar scharf das Gelb und das Blau als konstante oder Hauptfarben hervortreten, nicht so deutlich hingegen den Purpur. Nach Heß ist das »invariable Rot«, nicht anders als das »invariable Grün«, lediglich ein Umschlagspunkt in der Verfärbung, und Purpur soll nach ihm auf der seitlichen Retina sogar in Blau übergehen; Hellschwarz hingegen fand, daß Purpur sich direkt in Weiß verwandelte, nachdem diese Farbe vorher durch Rosa mit einem Stich ins Gelbliche hindurchgegangen war. Nun entsprechen diesen beiden Farbtönen, dem »invariablen Rot« von Heß und dem »Purpur« von Hellschwarz sicher nicht vollständig identische objektive Mischungen. Wenn trotzdem beide direkt, ohne Zwischenfarbe, in die farblose Empfindung einmünden, so scheint mir das schon darauf hinzuweisen, daß den auf der Grundlinie des Farbendreiecks liegenden Farbtönen doch eine größere Konstanz eignet, als den entsprechenden komplementären »grünen« Farben. Dafür sprechen auch noch eine Reihe anderer Tatsachen. Nach Helmholtz entfernt sich Violett um so mehr von Blau und nähert sich dem Purpur an, je lichtschwächer es ist. Ich glaube, ganz entsprechend kann man von isoliert (nicht neben den übrigen Spektralfarben) dargebotenem Rot sagen, daß es um so weiter von Gelb weg und zum Purpur hin wandert, je geringer seine Intensität ist. Wenigstens hat für mich ein sehr dunkles rein rotes Feld stets einen Stich ins Purpurne.

Aber auch noch auf andere Weise können die den Purpurtönen benachbarten Farben auf eine der dieser Reihe selbst angehörigen Qualitätsstufen übergeführt werden: Nach Helmholtz (S. 470 bis 471) färben sich sowohl spektrales Rot als auch Indigoviolett (zwischen 450 und 430 μ), wenn sie mit sehr vielem Weiß gemischt werden, deutlich rosenrot. —

Die im Vorhergehenden zusammengestellten Tatsachen legen im Verein mit den Resultaten meiner Versuche aufs Deutlichste dar, daß in erster Linie Gelb und Blau Anspruch auf den Charakter von Haupt- oder Grundfarben haben. Nimmt man eine dreifache Gliederung der Sehprozesse an, so kann als dritte Komponente nur ein Purpurton in Frage kommen. Damit im Einklang stehen die

zuletzt erwähnten Umfärbungserscheinungen, sowie insbesondere das durchgängige Auftreten des Purpur im Stadium des Abklingens. Diese dritte Grundfarbe fehlt den Dichromaten, die man demnach als purpurblind zu bezeichnen hätte. — Nun scheinen allerdings der Wahl der genannten drei »Urfarben« die in den Mischungsgesetzen der Spektralfarben niedergelegten Erfahrungen zu widersprechen; eignen sich doch, wenn man spektrale Helligkeitsverhältnisse zu Grunde legt, die ihnen entsprechenden objektiven Lichter am allerwenigsten zur Herstellung möglichst hoch gesättigter Mischfarben. Solche Bedenken haben aber selbst Helmholtz nicht abgehalten, seine alten Grundfarben Rot, Grün und Violett auf Grund von Untersuchungen über die Farbenempfindlichkeit durch drei neue, »ein höchst gesättigtes Karminrot«, ein »gelbliches Grün« zwischen 540 und 560 μ und »Ultramarinblau« zu ersetzen und damit »Urfarben« einzuführen, die sich nur wenig von den hier vertretenen Komponenten unterscheiden (Phys. Optik, 2. Aufl., S. 456). Zudem sind, wie Wundt hervorhebt, grade die Spektralfarben wenig geeignet, als Grundlage für eine gesetzliche Formulierung der Mischungstatsachen zu dienen, da die ihnen eigenen Helligkeiten sich zum Teil sehr wesentlich von einander unterscheiden. Wundt weist auf Messungen und Berechnungen von Glan hin, nach denen bei einer Reduktion auf gleiche Helligkeit für sämtliche Spektralfarben die komplementären Lichtmengen annähernd die gleichen zu sein scheinen (Wundt, a. a. O., 2. Bd., S. 156). Sollten diese Untersuchungen eine weitere Bestätigung finden, dann wäre nicht das Dreieck, sondern der Kreis der adäquate graphische Ausdruck der Mischungsgesetze. Damit würde aber zugleich jede Möglichkeit schwinden, die Tatsachen der Farbmischung als Kronzeugen für die Wahl ganz bestimmter Komponenten der Farbenprozesse in die Schranken zu führen. Eine genauere Eingrenzung solcher Urfarben ließe sich dann nur auf Grund anderer psychologisch-optischer Befunde vollziehen, und ich glaube wenigstens gezeigt zu haben, in welcher Richtung diese Tatsachen zu suchen sind, ja noch mehr, ich glaube bewiesen zu haben, daß die Farbdreierheit Blau-Gelb-Purpurn vor allen anderen Kombinationen den Vorzug verdient. Jedoch habe ich die Resultate der psychologischen Optik nicht so eingehend durchgeprüft, um entscheiden zu können, ob, bzw. in welchem Umfange sich das ganze große Tatsachengebiet dieser Wissenschaft der neuen Theorie einordnen läßt. — Es bleibt mir jetzt nur noch die Aufgabe, eine Einfügung der Prozesse des Abklingens, von denen die hier gegebenen theoretischen

Betrachtungen ausgingen, in den Rahmen einer Komponententheorie mit den drei Grundfarben Blau, Purpurn und Gelb zu versuchen, wobei ich mich jedoch lediglich auf Andeutungen beschränken werde.

Helmholtz sucht die Prozesse des Abklingens nach farbigen Eindrücken »im Sinne von Thomas Youngs Farbentheorie« dem theoretischen Verständnis näher zu bringen, indem er annimmt, daß »jede, auch die gesättigteste objektive Farbe subjektiv mit Weiß gemischt ist«, daß also jeder farbige Reiz nicht nur die seiner Qualität korrespondierenden Farbenprozesse auslöst, sondern daneben noch auf sämtliche drei Komponenten des Sehorgans einwirkt (S 528). Zu der gleichen theoretischen Annahme drängen die Resultate der vorliegenden Arbeit hin; doch sind an die Stelle der Young-Helmholtzschen Komponenten drei neue, nämlich Blau, Purpur und Gelb zu setzen. — Wie sind nun die Tatsachen des Abklingens mit dieser Theorie in Einklang zu bringen? Eine Einwirkung auf sämtliche drei Komponenten muß natürlich Prozesse zur Folge haben, denen auf psychischer Seite die Farbenbilder des abklingenden Weiß entsprechen. Diese Farben fügen sich jedoch nicht ohne weiteres in das von der Ermüdungstheorie geforderte Begriffsschema Positiv-gleichfarbig—Negativ-komplementär ein. Im Sinne der landläufigen Meinung mußte deshalb Helmholtz diese Bilder notgedrungen als irreguläre Erscheinungen betrachten, die sich gleichsam störend in den regelmäßigen Gang zwischen das positive und das negative Nachbild einzwängen. Ich habe oben (S. 216) darauf hingewiesen, daß die Tatsachen dieser Behauptung entgegen stehen. Da ich keinen Grund habe, auf die Ermüdungstheorie Rücksicht zu nehmen, liegt für mich, wenn ich die Helmholtzsche Vorstellung in ihren Grundzügen annehme, die Möglichkeit einer Erklärung wesentlich einfacher: Die Einwirkung des Reizlichtes auf sämtliche Komponenten des Sehorgans ist der alleinige und ausschließliche Grund der Vorgänge des Abklingens, wie überhaupt der Nachbildprozesse. Diese Wirkung entwickelt sich im Primärstadium, vermag aber hier nicht voll zur Geltung zu kommen, da die dem Reize adäquate Farbe überwiegt. Im Sekundärstadium hingegen können die angeregten Prozesse im freien Spiele ihre Kräfte messen. Dabei werden sich im allgemeinen zuerst und am stärksten diejenigen Qualitäten im Wettstreite der Farben hervordrängen, welche bisher am stärksten gehemmt waren, das sind aber die Gegenfarben.

Die eben dargelegte Auffassung (die sich übrigens ebensogut mit jeder anderen Komponententheorie sowie mit der »Stufentheorie« vereinigen läßt) erklärt das durchgängige Auftreten der drei Hauptfarben im Stadium des Abklingens in befriedigender Weise; mit ihr sind ferner leicht in Einklang zu bringen die Selbständigkeit sowie der oszillatorische Verlauf der Nachbildprozesse, Tatsachen, die der Ermüdungstheorie strikte entgegen stehen. Vieles andere läßt sie freilich noch unerklärt, so insbesondere die Helligkeitsverhältnisse der Nachbilder. Ob hier an eine Sonderung des Helligkeitsprozesses von den Farbenprozessen zu denken ist, ob ferner in den »negativen« Nachbildern doch Folgen eines Stoffverbrauchs, aber ganz anderer Art, als sie die Fechner-Helmholtzsche Ermüdungstheorie annimmt, in die Erscheinung treten, lasse ich dahingestellt.

In den voranstehenden Ausführungen habe ich die Sekundärerscheinungen öfters als Vorgänge des »Abklingens« bezeichnet, ich habe ferner die sonst so genannten Abklingeprozesse nicht scharf von den gewöhnlichen schwächeren Nachbildvorgängen abgetrennt, und ich glaube, beides mit Recht: Wenn die von mir vertretene theoretische Auffassung zutrifft, dann sind die Nachbilder nichts weiter als der Ausdruck eines »Verklingens«, d. h. eines langsamen Dahinschwindens von Prozessen, die im Primärstadium bereits vorhanden sind. Unter diesen Begriff eines Abklingens der Erregung fallen alle, selbst die den schwächsten Reizen folgenden Nachbilder. Denn auch nach Eindrücken von geringer Lichtstärke ist unter günstigen Bedingungen im dunklen Gesichtsfelde ein Phasenwechsel wenigstens angedeutet. In den Bahnen der Ermüdungstheorie wandelnd, hat man jedoch bisher diese nach schwacher Reizung auftretenden Erscheinungen meist nicht beachtet oder übersehen, da man eben nur das negativ-komplementäre Bild finden wollte. Und so stützt denn auch Helmholtz seine von Fechner übernommene Theorie lediglich auf die nach geringen Intensitäten beobachteten Nachbilder. Von dem so gewonnenen theoretischen Standpunkte aus sucht er dann einige Schlaglichter auf die komplizierten Prozesse des Abklingens stärkerer Reize zu werfen, lehnt es aber ausdrücklich ab, »die sehr zusammengesetzten Erscheinungen des farbigen Abklingens starker oder anhaltender Lichteindrücke vollständig auf ein einfaches Schema zurückzuführen« (Phys. Optik, 2. Aufl., S. 534). Im Gegensatz zu dem Verf. der »Physiologischen Optik« bin ich der Meinung, daß grade der umgekehrte Weg zum Ziele führt: Das Wichtige und Kennzeichnende der Nachbildprozesse ist in den Tat-

sachen gegeben, die man bisher unter den Begriff des »farbigen Abklingens« zusammengefaßt hat. Diese müssen zuerst eingehend untersucht und erklärt werden. An zweiter Stelle folgen dann die gewöhnlich, aber fälschlich der Theorie zu Grunde gelegten schwächeren Nachbildphänomene, die als Reduktionserscheinungen jener vollständigeren und intensiveren Sekundärvorgänge aufzufassen und dementsprechend theoretisch zu verwerten sind.

Die vorstehende Dissertation ist der erste Teil einer größeren Arbeit, die unter dem Titel: »Beiträge zur Kenntnis der Nachbilderscheinungen« in dem »Archiv für die gesamte Psychologie« erscheint. Der zweite Teil enthält Versuche mit kurzdauernden Reizen, die nach der von McDougall angegebenen Methode ausgeführt sind, und bringt neue Feststellungen über die Gestaltung des Primär- und Sekundärbildes.

Herrn Geheimrat Professor Dr. Martius danke ich für die Bereitwilligkeit, mit der er mir die Mittel seines Instituts zur Verfügung gestellt, sowie für das Interesse, das er mehrere Semester hindurch meinen psychologischen Arbeiten entgegengebracht hat. Ferner bin ich dem früheren Assistenten des Psychologischen Institutes, Herrn Dr. Minnemann, für die Einführung in den Stoff und die experimentellen Methoden der vorliegenden Arbeit zu Danke verpflichtet.

Lebenslauf.

Ich, Friedrich Adolf Peter Paul Homuth, Sohn des Pastors A. Homuth, geboren am 13. Dezember 1875 zu Ossig, Kreis Zeitz, preussischer Staatsangehörigkeit und evangelischer Konfession, bestand die Reifeprüfung Ostern 1897 am Gymnasium zu Zeitz und studierte Philosophie, Mathematik und Naturwissenschaften von Michaelis 1898 bis Michaelis 1899 in Leipzig, von Michaelis 1900 bis Ostern 1904 in Halle. Am 14. Mai 1904 bestand ich in Halle das Examen pro facultate docendi, leistete dann das Seminar- und Probejahr am Gymnasium zu Kattowitz, sowie an den Realschulen zu Gnadendorf und Görlitz ab, wurde am 1. Oktober 1908 an der Realschule in Görlitz als Oberlehrer angestellt und bin vom 1. April 1908 an in gleicher Eigenschaft an der Oberrealschule I in Kiel tätig.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

